

Aus dem Zentrum für Ökologie
am Klinikum
der Justus Liebig-Universität Gießen

Untersuchungen zur Frage einer Beurteilung
der körperlichen Leistungsfähigkeit mit Hilfe
der W_{170} in verschiedenen
Alters-, Leistungs- und Berufsgruppen

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung des Doktorgrades
des Bereichs Humanmedizin
der Justus Liebig-Universität Gießen

vorgelegt von

Wilhelm Sbresny
aus Gießen

Gießen 1974



Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA41546402_0039

Aus dem Zentrum für Ökologie
am Klinikum
der Justus Liebig-Universität Gießen

**Untersuchungen zur Frage einer Beurteilung
der körperlichen Leistungsfähigkeit mit Hilfe
der W_{170} in verschiedenen
Alters-, Leistungs- und Berufsgruppen**

INAUGURAL-DISSERTATION

zur Erlangung des Doktorgrades
des Bereichs Humanmedizin
der Justus Liebig-Universität Gießen

vorgelegt von

Wilhelm Sbresny
aus Gießen

Gießen 1974

Für den Inhalt der Arbeit
im Hinblick
des Herrn Fachlehrers Herrn

Untersuchungen zur Frage einer Beurteilung
der körperlichen Leistungsfähigkeit mit Hilfe
der Witz in verschiedenen
Alter-, Leistungs- und Berufsgruppen

INHAUT / DISSEKTATION



Dekan: Prof. Dr. D. Ringleb

Betreuer der Arbeit: Prof. Dr. Dr. J. Rutenfranz

1. Berichterstatter: Prof. Dr. W. Blasius

2. Berichterstatter: Prof. Dr. M. Schlepper

Inhalt

Seite

Einleitung	1
I. Zur Frage der Beurteilung der körperlichen Leistungsfähigkeit mit Hilfe der W_{170} in Abhängigkeit von Lebensalter und Beruf nach Angaben in der Literatur	6
1. Methodische Probleme	6
2. Normwerte der W_{170} in Abhängigkeit von Lebensalter, Geschlecht und körperlicher Entwicklung	12
3. Abhängigkeit der W_{170} vom Trainingszustand und von der beruflichen Aktivität bei Erwachsenen	21
II. Eigene Untersuchungen	30
1. Methodik	30
1.1. Untersuchungsgut	30
1.2. Meßanordnungen	36
1.2.1. Fahrradergometer	36
1.2.2. Messung der Herzfrequenz	38
1.2.3. Bestimmung des Sauerstoffverbrauches ..	38
1.2.4. Versuchsanordnungen	40
a) Bestimmung der W_{170} bei stufenweise steigender Leistung (A-Versuche)	41
b) Bestimmung der W_{170} bei kontinuierlich steigender Leistung (B-Versuche)	41
c) Bestimmung der Sauerstoffaufnahme in den A- und B-Versuchen auf submaximalen Leistungsstufen und Bestimmung der maximalen Sauerstoffaufnahme	42
d) Bestimmung der Zellmasse	43
1.3. Angewandte statistische Methoden	45

	Seite
2. Ergebnisse	46
2.1. Methodische Voruntersuchungen	46
2.1.1. Vergleich der Bestimmung der W_{170} bei stufenweiser Belastung und bei kontinuierlich ansteigender Belastung	46
2.1.2. Vergleich der O_2 -Aufnahme bei stufenweise steigender Belastung und bei kontinuierlich steigender Belastung	50
2.1.3. Testtheoretische Prüfungen	56
a) Test-Retest-Reliabilität	57
b) Abhängigkeit der Leistungs- fähigkeit bei Reihenunter- suchungen von der Sequenz	60
2.1.4. Praktische Konsequenzen aus den Vergleichsuntersuchungen	63
2.2. Bezugsgrößen der körperlichen Leistungs- fähigkeit	64
2.3. Anwendung der Meßgröße W_{170} zur Beurteilung der körperlichen Leistungsfähigkeit	75
2.3.1. Abhängigkeit der Meßgröße W_{170} vom Lebensalter	76
a) Absolute Werte	76
b) Relative Werte (Bezug auf das Körpergewicht)	76
2.3.2. Abhängigkeit der Meßgröße W_{170} vom Geschlecht	82
a) Absolute Werte	82
b) Relative Werte (Bezug auf das Körpergewicht)	83
2.3.3. Abhängigkeit der W_{170} von den Trainingsgewohnheiten in Sport und Beruf	84
a) Absolute Werte	84
b) Relative Werte (Bezug auf das Körpergewicht)	85
III. Diskussion der Ergebnisse	87
IV. Zusammenfassung	104
Literatur	106

EINLEITUNG

Für die Arbeitsmedizin hat die Suche nach einer exakten Bestimmung der körperlichen Leistungsfähigkeit noch immer aktuelle Bedeutung. So hat der Arzt bei Einstellungs- oder Überwachungsuntersuchungen in vielen Fällen ein Urteil darüber abzugeben, ob ein körperlich Arbeitender den Anforderungen aus seiner Tätigkeit gewachsen ist oder nicht.

Eine solche Fragestellung macht eine Differenzierung des Begriffes "Leistungsfähigkeit" notwendig. Keineswegs kann Leistungsfähigkeit mit sportlichen Hochleistungen oder mit Leistungen in bestimmten Disziplinen gleichgesetzt werden.

Die Untersuchungen von SALTIN und ÅSTRAND haben bereits deutlich gemacht, daß sich selbst die Besten einer Nationalmannschaft recht erheblich hinsichtlich ihrer Leistungsfähigkeit unterscheiden, wenn man den Versuch macht, die Athleten aller Disziplinen nach einem gemeinsamen Kriterium, z. B. der maximalen O_2 -Aufnahme zu beurteilen. Die Autoren kamen zu der Feststellung, daß so unterschiedliche Sportler wie Gewichtheber, Ringer, Fechter und Tischtennisspieler nahezu die gleiche maximale O_2 -Aufnahme pro Zeiteinheit haben, und daß sich diese Fähigkeit nur wenig von derjenigen untrainierter Personen abhebt. Daß die Sportler aber deutlich leistungsfähiger sind als untrainierte Personen, beweisen die gezeigten Leistungen.

Wie RUTENFRANZ 1968 u.a. gezeigt haben, beruht diese Schwierigkeit auf der Tatsache, daß man nicht pauschal von der körperlichen Leistungsfähigkeit sprechen kann, sondern den Begriff weiter differenzieren muß. In Anlehnung an die Faktorenanalyse von FLEISHMAN sowie FOWLER und GARDENER sollte man den Begriff Leistungsfähigkeit zumindest unterteilen in:

1. Muskuläre Leistungsfähigkeit
2. Sensumotorische Leistungsfähigkeit
3. Kardiopulmonale Leistungsfähigkeit.

Diese Einteilung ließe sich beliebig weiter fortführen, jedoch würde die Uneinheitlichkeit in der Nomenklatur dadurch sicher nicht geringer. So wird z. B. in den Untersuchungen von SALTIN und ÅSTRAND die Leistungsfähigkeit des kardiopulmonalen Systems, gemessen als maximale O_2 -Aufnahme, mit dem weiterreichenden Begriff der "körperlichen Leistungsfähigkeit" gleichgesetzt.

Ein solches Vorgehen ist jedoch nicht zu rechtfertigen; die Beurteilung der Leistungsfähigkeit des kardiopulmonalen Systems ist wichtig bei Berufen mit schwerer körperlicher Arbeit. Eine Überbeanspruchung der muskulären Leistungsfähigkeit würde sehr schnell offensichtlich, Schäden im Herz-Kreislauf-System werden meist erst nach längerer Zeit manifest und können ernste Folgen nach sich ziehen.

In einem modernen Industriebetrieb kommen heute oft nebeneinander Tätigkeiten mit großem und geringem Energieverbrauch vor. So findet man etwa im Bereich der Eisen- und Stahlindustrie in den Gießereien noch Arbeiten mit Energieumsätzen von 6 bis 8 kcal/min, während in Stahlwerken an den Steuerständen kontinuierlicher Walzenstraßen solche von nur 1 bis 2 kcal/min anzutreffen sind. Hier hat der Werksarzt in manchen Fällen zu klären, ob der eine Arbeiter einer schweren körperlichen Anstrengung gewachsen ist und der andere durch eine sehr leichte Tätigkeit nicht Schäden durch Bewegungsmangel erleidet und dadurch in anderer Weise gefährdet wird.

Allerdings eignet sich aus theoretischen Gründen für die Beurteilung der kardiopulmonalen Leistungsfähigkeit, gerade auch für die Lösung arbeitsmedizinischer Probleme, vor allem die Bestimmung der maximalen O_2 -Aufnahme (ÅSTRAND und RODAHL, I. ÅSTRAND), da sich gezeigt hat, daß eine Arbeit über eine 8-Stunden-Schicht nur dann ohne zunehmende Ermüdung ausgeführt werden kann, wenn dafür energetisch nicht mehr als 30 % der maximalen O_2 -Aufnahme eingesetzt werden muß.

Da man unter Arbeitsbedingungen im Betrieb den Verbrauch von 1 l O₂ mit einem Kalorienverbrauch von 4,85 kcal gleichsetzen kann, ist darum z. B. einem Menschen mit einer maximalen O₂-Aufnahme von 3 l/min eine Tätigkeit zuzumuten, die einen Kalorienverbrauch von $\approx$ 4,4 kcal/min bei fortlaufender Arbeit nicht überschreitet. Dieser Wert entspricht etwa 30 % seiner maximalen O₂-Aufnahme. Hätte der Arbeiter jedoch eine maximale O₂-Aufnahme von 6 l/min, wie sie etwa bei Hochleistungssportlern angetroffen wird, wäre ihm eine Tätigkeit mit einem Kalorienverbrauch von $\approx$ 8,8 kcal/min zuzumuten. Läge eine Tätigkeit mit einem Kalorienverbrauch von 6 kcal/min vor, so wäre der erste Arbeiter deutlich überfordert, während sie dem zweiten Arbeiter durchaus zuzumuten wäre.

Ein anderes wichtiges arbeitsmedizinisches Problem im Zusammenhang mit der Beurteilung der körperlichen Leistungsfähigkeit betrifft die Arbeit jugendlicher Arbeitnehmer. Hier hat sich die Gesetzgebung zum Schutze junger Arbeitnehmer viele Jahrzehnte auf Vermutungen stützen müssen. Erst in den letzten zwanzig Jahren wurde von verschiedenen Untersucherguppen (z. B. ÅSTRAND 1952; VALENTIN et al., KEUL et al., RUTENFRANZ 1964) nachgewiesen, daß die kardiopulmonale Leistungsfähigkeit bei Heranwachsenden qualitativ keine Unterschiede gegenüber Erwachsenen zeigt. Sie können also ebenfalls mit 30 % ihrer maximalen Sauerstoffaufnahme über eine 8-Stunden-Schicht belastet werden; nur ist diese infolge der Dimensionsunterschiede verschiedener Organsysteme naturgemäß geringer als die O₂-Aufnahme Erwachsener. Es kommt dadurch zu einem quantitativen Unterschied der Leistungsfähigkeit, das bedeutet, Heranwachsende können nicht absolut die gleiche Arbeit wie Erwachsene verrichten. Darüber hinaus kann der Arbeitsmediziner, aber auch jeder andere Arzt, z. B. bei der Durchführung der gesetzlichen Untersuchung nach § 45 des Jugendarbeitsschutzgesetzes vor die Frage gestellt werden, ob er die Gesundheit des

jungen Arbeiters durch eine Tätigkeit bestimmter Arbeitsschwere für gefährdet hält. Auch dies wird, wie aus dem Vorangegangenen ersichtlich, nur über eine Bestimmung der individuellen kardiopulmonalen Leistungsfähigkeit möglich sein.

So sicher wir somit davon ausgehen können, daß die Bestimmung der kardiopulmonalen Leistungsfähigkeit im Rahmen arbeitsmedizinischer Tätigkeiten von großem Nutzen sein kann und am besten über die Bestimmung der maximalen O_2 -Aufnahme zu erfolgen hätte, so sicher dürfte jedoch auch die Tatsache feststehen, daß nur wenige werksärztliche Einrichtungen für die Durchführung solcher Untersuchungen ausgerüstet sind. Im Gegensatz zu reinen Forschungsinstituten bereiten die dazu notwendigen Gasanalysen Schwierigkeiten, andererseits wird auch mit Recht der nicht geringe zeitliche und personelle Aufwand in der Praxis gegen eine routinemäßige Bestimmung der maximalen O_2 -Aufnahme angeführt.

Aus diesen Gründen liegt es nahe, neben indirekten Methoden zur Bestimmung der maximalen Sauerstoffaufnahme (ÅSTRAND und RHYMING; MARGARIA et al.; MÜLLER 1961, 1962; LINDEMANN; RUTENFRANZ 1971) nach Untersuchungsmethoden zu suchen, deren Informationswert hinsichtlich der kardiopulmonalen Leistungsfähigkeit ebenfalls hoch, deren Aufwand jedoch geringer ist. Unter den Methoden, mit denen sich die O_2 -Transportkapazität des Herz-Lungen-Kreislaufsystems mit hinreichender Genauigkeit messen läßt, hat HOLMGREN in seiner grundlegenden Arbeit auch die W_{170} aufgeführt. Unter dieser Meßgröße, die von WAHLUND als PWC (Physical Working Capacity) eingeführt wurde, versteht HOLMGREN "The rate of Work at the Pulse Frequency 170".

Da diese Methode einfacher zu handhaben ist als die direkte Bestimmung der maximalen O_2 -Aufnahme und nach LINDEMANN mindestens die gleiche Reliabilität wie die indirekten Methoden zur Bestimmung der maximalen O_2 -Aufnahme besitzt, ist die Bestimmung der W_{170} (bzw. PWC_{170}) in den letzten 25 Jahren bei verschiedenen skandinavischen und anglo-amerikanischen Untersuchungen angewendet worden (Zusammenfassung der Darstellungen bei: WAHLUND; BENGTSSON 1956; RUTENFRANZ 1964; THOREN et al.).

Überblickt man die Ergebnisse dieser Untersuchungen jedoch im Zusammenhang, dann zeigt sich, daß die von einzelnen Untersuchern angegebenen Werte für bestimmte Alters- oder Berufs- bzw. Trainingsgruppen nicht unerheblich differieren. Da diese Differenzen sowohl durch Unterschiede in den methodischen Ansätzen als auch in der Unvergleichbarkeit der den Gruppen-Werten zugrundeliegenden Kollektive verursacht sein können, soll in dieser Arbeit zunächst über die verschiedenen methodischen Ansätze zur Bestimmung der W_{170} sowie über Normwerte für verschiedene Gruppen anhand der vorliegenden Literatur berichtet werden. Im Rahmen eigener Untersuchungen soll dann zu einem methodischen Teilaspekt der Bestimmung der W_{170} Stellung genommen werden und danach über die Abhängigkeit der nach einer standardisierten Methode bestimmten W_{170} , als praktisch anwendbares Maß zur Bestimmung der körperlichen Leistungsfähigkeit, von Lebensalter, Geschlecht und beruflicher Tätigkeit berichtet werden.

I. ZUR FRAGE DER BEURTEILUNG DER KÖRPERLICHEN LEISTUNGS-
FÄHIGKEIT MIT HILFE DER W_{170} IN ABHÄNGIGKEIT VON
LEBENSALTER UND BERUF NACH ANGABEN IN DER LITERATUR

1. Methodische Probleme

Die Bestimmung der W_{170} geht von den klassischen Versuchen von COLETT und LILJESTRAND; BOCK et al.; CHRISTENSEN sowie E.A. MÜLLER 1942, 1943, aus. In diesen Versuchen konnte übereinstimmend gezeigt werden, daß O_2 -Verbrauch und Herzfrequenz über weite Strecken linear mit einer physikalisch exakt definierten Leistung, z.B. am Fahrradergometer, ansteigen; außerdem wurde in allen diesen Versuchen bereits festgestellt, daß die Steilheit des Pulsfrequenzanstieges von der körperlichen Leistungsfähigkeit abhing. Trainierte Personen wiesen nämlich bei gleichen Leistungen stets niedrigere Pulsfrequenz-Werte auf als Untrainierte.

Um die kardiopulmonale Leistungsfähigkeit auf der Basis dieses Ansatzes zu definieren, bestimmte E.A. MÜLLER 1950 die minutliche Steigerung der Pulsfrequenz, indem er die Belastung am Fahrradergometer kontinuierlich um 60 mkp/min^2 von 0 bis auf 600 mkp/min bei einer Tretgeschwindigkeit von 60 Pedalumdrehungen/min ansteigen ließ. Aus den so gewonnenen Wertepaaren von Leistung und Pulsfrequenz errechnete er den jeweiligen Regressionskoeffizienten b , den er "Leistungspulsindex" (LPI) nannte.

Die Beurteilung der kardiopulmonalen Leistungsfähigkeit mit Hilfe des LPI hatte jedoch vom Ansatz her einen Fehler darin, daß relativ niedrige Leistungen verlangt wurden. Dies hat erfahrungsgemäß zur Folge, daß sich psychogene Pulsfrequenzsteigerungen besonders stark am Arbeitsanfang auswirken können. Dadurch besteht die Gefahr, daß der Regressionskoeffizient b scheinbar klein wird und dadurch ein flacher Anstieg der Pulsfrequenz vorgetäuscht wird. MÜLLER versuchte, diese Ungenauigkeit durch ein langes ruhiges Sitzen auf dem Fahrradergometer

vor Versuchsbeginn auszugleichen. Bei Felduntersuchungen ist dieses Vorgehen jedoch ungeeignet.

MÜLLER hatte die von ihm vorgeschlagenen Leistungen von höchstens 600 mkp/min (100 Watt) damit begründet, daß bei einer länger dauernden Versuchsanordnung auf den einzelnen Stufen (z.B. 2 oder 3 Minuten je mkp/sec) ein "Ermüdungsanstieg" der Pulsfrequenz zu erwarten wäre.

Einen grundsätzlich ähnlichen Weg schlug WAHLUND bereits 1948 ein, indem er vorschlug, als Maß der kardiopulmonalen Leistungsfähigkeit die Leistung in mkp/min zu verwenden, bei der eine Herzfrequenz von 170 Schlägen in der Minute erreicht wird. Diese Leistung, von ihm "working capacity" genannt, sollte über eine ununterbrochene Serie von 3 jeweils 6 1/2 Minuten dauernden Leistungen am Fahrradergometer bestimmt werden, wobei die Leistung jeweils um 300 mkp/min erhöht werden sollte. Die Bestimmung der "working capacity" erfolgte graphisch aus drei Meßwerten, welche die Herzfrequenzen auf den drei Belastungsstufen darstellten, durch Intra- bzw. Extrapolation.

Für dieses Vorgehen nannte WAHLUND als Voraussetzung, daß auf jeder Belastungsstufe ein steady state der Pulsfrequenz erreicht würde, und daß die Atemfrequenz nicht mehr als 30 Atemzüge in der Minute betrage dürfte. Da diese Atemfrequenz bei Kindern aber sehr schnell überschritten wird (BENGTSOON 1957) und echt steady state Bedingungen auch nach neueren Untersuchungen nur schwer zu erreichen sind (LUKIN), modifizierten KJELLBERG et al. in Anlehnung an BENGTSOON die Methode dahingehend, daß sie die PWC₁₇₀ als die Leistung in mkp/min während eines relativen "steady states" der Herzfrequenz bei einer Herzfrequenz von 170 Schlägen/min definierten.

Ein relatives steady state der Herzfrequenz wurde angenommen, wenn die Frequenz in den letzten 4 Minuten eines 6-minütigen Belastungsversuches nicht um mehr als 10 Schläge, oder in den letzten beiden Minuten um nicht mehr als 5 Schläge zunahm.

In der Folgezeit wurde bei verschiedenen Untersuchungen dieses Vorgehen nicht immer genau eingehalten, so daß es zu einer Vielzahl von Modifikationen kam. Erst in letzter Zeit einigte man sich auf eine Standardmethode (STRÖM). Dabei kam man überein, daß die "W₁₇₀" die Leistung in mkp/min oder Watt sein soll, bei der die Herzfrequenz 170 Schläge/min in einem relativen steady state beträgt. Diese Frequenz soll über drei Belastungsstufen von je 6 Minuten Dauer erreicht werden, die möglichst so zu wählen sind, daß die Herzfrequenzen auf der ersten Stufe 120 bis 130, auf der zweiten Stufe 140 bis 150 und auf der dritten Stufe 170 bis 180 Schläge/min beträgt. Auch STRÖM legt für die Festlegung des relativen steady state die von KJELLBERG et al. vorgeschlagenen Bedingungen zugrunde.

Für die Berechnung der W₁₇₀ sollte darüber hinaus die Pulsfrequenz auf der ersten Leistungsstufe möglichst nicht unter 120 Schlägen und die Herzfrequenz auf der letzten Leistungsstufe nicht unter 160 Schlägen in der Minute liegen. Extrapolationen von niedrigeren Werten sollten mit Vorbehalt Verwendung finden und besonders gekennzeichnet werden (THORÉN, 1970).

In einem gewissen Gegensatz zu den von KJELLBERG et al. vorgeschlagenen Modifikationen konnte RUTENFRANZ 1964 bei vergleichenden Untersuchungen über einige ergometrische Methoden zur Prüfung der körperlichen Leistungsfähigkeit im Kindes- und Jugendalter feststellen, daß die kontinuierlich steigende Arbeitsform, wie sie bei der Bestimmung des LPI nach MÜLLER Verwendung findet, bei Heranwachsenden wesentliche Vorteile mit sich bringt. Da die intra- bzw. extrapolatorische Bestimmung der "working capacity" auf der Basis von nur 3 Meßpunkten erfolgte, erschien es ihm sinnvoll, nach einer Methode zu suchen, die zusätzliche Meßpunkte ohne größeren Aufwand lieferte. RUTENFRANZ schlug daher vor, die "working capacity" aus dem Regressionskoeffizienten zwischen Leistung und Arbeitspulsfrequenz (LPI) rechnerisch zu bestimmen. Er gab dafür folgende Formel an :

$$PWC_{170} = La + K \cdot \left(\frac{170 - Fa}{b} \right)$$

Hierin bedeuten : L_a die Leistung in mkp/min bei der Ausgangspulsfrequenz F_a , 170 die Grenz puls frequenz, die gleichzeitig als Kriterium der kardiopulmonalen Leistungsfähigkeit dient, b den Regressionskoeffizienten zwischen Leistung und Arbeitspulsfrequenz und K den Umrechnungsfaktor vom Wert 60 für Umwandlung von mkp/sec in mkp/min.

Beim Vergleich der so gewonnenen W_{170} -Werte mit den Ergebnissen anderer Untersucher, die die Belastung in ihren Versuchen stufenweise ansteigen ließen, stellten MÁČEK et al. fest, daß die Werte von RUTENFRANZ systematisch um 180 bis 200 mkp/min über denen anderer Untersucher lagen. Dieser Befund wurde noch deutlicher, wenn man die bei einer Pulsfrequenz von 170 bestimmte Leistung in Watt/kg Körpergewicht umrechnete.

RUTENFRANZ nahm zunächst an, daß Heranwachsende offenbar die Arbeit auf relativ hohen Belastungsstufen aus muskulären Überforderungen abbrechen würden, bevor sich ein "steady state" der Pulsfrequenz einstellen könnte. Die so ermittelten Pulsfrequenzen müßten dann relativ zu niedrig liegen und die daraus errechnete W_{170} entsprechend höher ausfallen. Auf der Suche nach einer befriedigenden Klärung dieser Diskrepanz untersuchten MOCELLIN und RUTENFRANZ erneut die Frage der Linearität des Herzfrequenzanstieges bei steigender Leistung. Denn nur wenn eine strenge Linearität zwischen Leistung und Arbeitspulsfrequenz besteht, ist eine Berechnung der W_{170} mit Hilfe des Regressionskoeffizienten zwischen beiden Meßgrößen möglich.

Während ältere Untersuchungen sich durchweg auf einige wenige Pulsfrequenzmessungen während submaximaler Leistungen beschränkten, ließen MOCELLIN und RUTENFRANZ nach einem "warming up" von vier Minuten die Leistung kontinuierlich von ca. 30 mkp/min um jeweils 60 mkp/min² so lange ansteigen, bis eine Pulsfrequenz direkt unter oder über 190 Schlägen/min erreicht war. Die Pulsfrequenz wurde in jeder Minute summativ bestimmt und mit Hilfe eines mechanischen Druckers ausgedruckt.

Durch diese Versuche konnte gezeigt werden, daß eine strenge Linearität zwischen Pulsfrequenz und Leistung, wie sie für die Berechnung der W_{170} gefordert wird, nur in einem Bereich von etwa 1,5 bis 3 Watt/kg Körpergewicht besteht. Unterhalb dieses Bereiches war der Pulsfrequenzanstieg geometrisch progressiv, oberhalb dieses Bereiches geometrisch degressiv. In absoluten Pulsfrequenzwerten ausgedrückt begann die Linearität im Mittel bei einer Pulsfrequenz von 128 Schlägen/min und endete bei 174 Schlägen/min.

Um zu verdeutlichen, wie sich der gefundene Sachverhalt auf die Berechnung der W_{170} auswirken kann, errechneten MOCELLIN und RUTENFRANZ die W_{170} aus den Regressionskoeffizienten b zwischen Leistung und Arbeitspulsfrequenz nach folgender Gleichung :

$$W_{170} = \frac{170 - \left[\frac{\sum F - (b \cdot \sum L)}{n} \right]}{b}$$

Hierbei wurde der Regressionskoeffizient b aus allen Pulsfrequenzwerten auf den Leistungen bis zu einer Pulsfrequenz von 130, 150, 170 und 190 Schlägen/min. bestimmt und daraus die entsprechenden W_{170} -Werte errechnet. In den Untersuchungen hatte der Regressionskoeffizient b für die Versuchsgruppe folgende Werte :

$$b_{130} = 6,03; \quad b_{150} = 6,61; \quad b_{170} = 7,12; \quad b_{190} = 7,16$$

Die Regressionsgerade lag also mit zunehmendem Einschluß höherer Pulsfrequenzwerte steiler. Die daraus errechneten W_{170} -Werte betrugen entsprechend bei : $b_{130} = 827$, $b_{150} = 768$, $b_{170} = 727$ und $b_{190} = 724$ mkp/min.

Der durch Extrapolation aus Pulsfrequenzwerten bis zu Pulsfrequenz 130 gefundene W_{170} -Wert lag somit im Durchschnitt um einen Betrag von 100 mkp/min höher als der direkt bestimmte W_{170} -Wert. Gleichzeitig war aber damit bewiesen, daß die Einbeziehung von Pulsfrequenzen von unter 120 Schlägen/min zur Bestimmung der

W_{170} deutlich zu hohe Werte verursacht. Die Pulsfrequenz von 120 Schlägen/min entsprach dabei etwa einer Leistung von etwa 1 Watt/kg Körpergewicht, was so auch mit dem Ansatz von STRÖM übereinstimmte.

Weiter ist diesen Untersuchungen zu entnehmen, daß Frequenzen, die wesentlich über 180 Schlägen/min liegen, ebenfalls keine Verwendung zur Berechnung der W_{170} finden sollten, da auch hier die Gefahr besteht, daß auf Grund des "levelling off" der Pulsfrequenz die Regressionsgerade wiederum zu flach bestimmt wird. Hierdurch wird die W_{170} unter Einschluß dieser Werte scheinbar zu hoch.

Wenn man unter Zugrundelegung dieser Korrekturen die W_{170} bei Heranwachsenden unter der Bedingung des kontinuierlichen Leistungsanstieges bestimmte (MOCELLIN et al.), so fanden sich zwar geringere, aber trotzdem noch deutliche Differenzen im Verhältnis zur Bestimmung der W_{170} bei stufenweisem Leistungsanstieg. Diese Differenzen lagen bei einer Größenordnung von 70 bis 100 mkp/min gegenüber früher 180 bis 200 mkp/min.

Da die Ursachen für eine solche Differenz nicht mehr in fehlerhaften Ansätzen in der aufgestellten Gleichung zu erwarten waren, mußten andere methodische Gründe von Bedeutung sein. Da sich auf Grund von Vorversuchen zeigte, daß die O_2 -Aufnahme bei kontinuierlicher bzw. stufenweiser Erhöhung der Leistung auf gleichen Leistungsstufen nicht identisch war, erschien es zur Klärung dieser Restungenauigkeit in Erweiterung der früheren Versuche von MÜLLER 1950 notwendig, an einem hinreichend großen Untersuchungsgut die Bestimmung der O_2 -Aufnahme bei kontinuierlich steigender und bei stufenweiser Erhöhung der Leistung erneut zu untersuchen.

2. Normwerte der W_{170} in Abhängigkeit von Lebensalter, Geschlecht und körperlicher Entwicklung

Seit es Bestrebungen gibt, die körperliche Leistungsfähigkeit durch geeignete Verfahren zu messen, sind auch Versuche unternommen worden, Normwerte der körperlichen Leistungsfähigkeit aufzustellen.

Die Schwierigkeiten, die hierbei auftreten, zeigen sich besonders in der Beurteilung des Leistungsvermögens im Kindes- und Jugendalter. So findet man in vielen Vergleichen der Leistungsfähigkeit zwischen Erwachsenen und Kindern Hinweise auf die augenscheinliche Zartheit, Empfindlichkeit, Widerstandslosigkeit und Schwäche des kindlichen Organismus (z.B. PFAUNDLER). Der Grund für eine solche größere "Empfindlichkeit" des kindlichen Organismus wurde dabei darin gesehen, daß der kindliche Organismus durch das schnelle Wachstum voll ausgelastet sei, und daß die Anpassungsbreite dementsprechend geringer sein müsse.

ÅSTRAND (1956) konnte jedoch zeigen, daß auch der kindliche Organismus weder morphologisch noch funktionell für den Ruhezustand konstruiert ist. Der Weg für Arbeitsversuche zur Bestimmung der körperlichen Leistungsfähigkeit im Kindes- und Jugendalter war damit vorbereitet (HELLBRÜGGE et al.; RUTENFRANZ und HETTINGER; RUTENFRANZ 1964).

Bei der Suche nach einer geeigneten Arbeitsform für definierte Belastungen an Kleinkindern und jungen Schulkindern traten anfangs allerdings Schwierigkeiten auf. Weitere Erschwerungen lagen in der psychischen Entwicklung der Kinder und der sich wandelnden Einstellung der Kinder zur Arbeit begründet.

So gelingt es bei sehr jungen Kindern nur sehr schwer, über die rein spielerische Betätigung an den Ergometern hinaus, sie zu einer konstanten, gleichmäßigen Leistung von längerer Dauer zu bewegen. Junge Kinder sind noch oft geneigt, an einem Fahrradergometer ständig mit wechselnder Geschwindigkeit zu fahren, um

sich auf diese Weise immer wieder kurzfristig Arbeitserleichterung zu schaffen. Durch Verwendung spezieller Ergometer (KLIMT) oder, wie in unserem Fall, eines speziellen optischen Schrittmachers, der dem Vorstellungsvermögen von Kindern entgegenkommt, ist es heute jedoch möglich, die körperliche Leistungsfähigkeit von Kindern bis hinab zu einem Alter von etwa 5 Jahren auf dem Fahrradergometer zu bestimmen.

Da besondere Schwierigkeiten insbesondere dann auftreten, wenn man versucht, die kardiopulmonale Leistungsfähigkeit von Kleinkindern und jungen Schulkindern unter erschöpfenden Arbeitsbedingungen, wie etwa bei der Bestimmung der maximalen O_2 -Aufnahme, und damit an der Grenze des körperlichen Leistungsvermögens zu untersuchen, gewinnen gerade die Verfahren an Bedeutung, die auf submaximalen Belastungen beruhen, wie etwa die Bestimmung der W_{170} .

Frühe Versuche, Normwerte der körperlichen Leistungsfähigkeit im Kindes- und Jugendalter zu schaffen, wurden von RUTENFRANZ und HETTINGER unternommen. Sie bestimmten bei 940 männlichen und weiblichen Versuchspersonen im Alter zwischen 8 und 25 Jahren den Regressionskoeffizienten zwischen Leistung und Arbeitspulsfrequenz (LPI) nach E.A. MÜLLER (1950). Schon in dieser Arbeit war zu erkennen, daß die körperliche Leistungsfähigkeit in Form der geschlechtsspezifischen Wachstumskurven sich veränderte. Außerdem ließ sich ableiten, daß ein Leistungsoptimum der männlichen Versuchspersonen im Alter zwischen 22 und 23 Jahren und der weiblichen Versuchspersonen im 17. Lebensjahr zu vermuten war.

Da jedoch der Leistungspulsindex als Maß der körperlichen Leistungsfähigkeit sich als nur begrenzt aussagefähig erwies, bestimmte RUTENFRANZ 1964 bei 654 männlichen und 462 weiblichen Personen im Alter zwischen 8 und 25 Jahren die PWC_{170} . Als Ergebnis dieser Untersuchung fand sich, wie in den vorangegangenen Untersuchungen von RUTENFRANZ und HETTINGER, eine Zunahme der körperlichen Leistungsfähigkeit entsprechend dem Wachstum und der Reifeentwicklung. Geschlechtsunterschiede fanden sich

bereits im 9. bis 11. Lebensjahr, wobei die Jungen eine signifikant bessere Leistungsfähigkeit aufwiesen als die Mädchen. Die endgültige Differenzierung des Leistungsverhaltens zwischen den Geschlechtern erfolgte nach dem 12. bis 14. Lebensjahr vornehmlich durch eine relativ stärkere Besserung der PWC₁₇₀ bei den Jungen.

Etwa zur gleichen Zeit und in der Folgezeit wurden von anderen Untersuchern Versuche angestellt, Normwerte der körperlichen Leistungsfähigkeit auf der Basis der PWC₁₇₀ zu schaffen (ADAMS et al. 1961a; ADAMS et al. 1961b; CUMMING und CUMMING; ELO et al.; HOWELL und MACNAB; MÁČEK et al. 1970; MÁČEK et al. 1971; MOCELLIN et al.; SELIGER et al. 1971).

Grundgedanken aller dieser Arbeiten war es, repräsentative Werte zu schaffen, die letztlich jedoch nur durch eine zufällige Auswahl großer Stichproben in allen Altersgruppen zustande kommen können. Ein derartiges Vorgehen, das einen großen organisatorischen und finanziellen Aufwand bedingt, haben in jüngster Zeit HOWELL und MACNAB sowie SELIGER et al. 1971 für ihre Untersuchungen im Rahmen des "International Biological Program" gewählt. Dabei gingen HOWELL und MACNAB so vor, daß sie in allen Altersgruppen etwa 100 Jungen und 100 Mädchen aus 10 kanadischen Provinzen zur Teilnahme auswählten. Auf diese Weise ergab sich die Möglichkeit, die gefundenen Mittelwerte der W₁₇₀ in den Altersgruppen von 7 bis 17 Jahren direkt als Normwert der körperlichen Leistungsfähigkeit zu verwenden.

SELIGER et al. 1971 untersuchten in 12 über das gesamte Land verteilten Laboratorien in der Tschechoslowakei insgesamt 1891 männliche und weibliche Versuchspersonen im Alter von 12, 15 und 18 Jahren. Um methodische Unterschiede auszuschließen, die sich bei einem solchen dezentralisierten Vorgehen einschleichen können, wurden die Mitarbeiter von einer zentralen Stelle ausgebildet und in regelmäßigen Abständen überwacht.

Bei einem ersten Vergleich der so gewonnenen "Normwerte" konnte MÁČEK et al. 1970 zeigen, daß die absoluten Werte der W₁₇₀ zum

Teil erheblich zwischen den einzelnen Untersuchern differierten. Er konnte aber gleichzeitig auch erhebliche Unterschiede bezüglich Körpergröße und Körpergewicht zwischen den untersuchten Kollektiven finden. Um diese Differenzen auszugleichen, empfahl er, als Normwerte nicht die absoluten W_{170} -Werte zu verwenden, sondern besser die auf das Körpergewicht bezogene relative W_{170} in Watt/kg Körpergewicht einzusetzen. Durch diese Maßnahme ließen sich die gefundenen Differenzen zwar verkleinern, einheitliche Normwerte ergaben sich jedoch dadurch noch nicht. Angeregt durch dieses Ergebnis untersuchten MOCELLIN et al. 1971 erneut die Abhängigkeit der W_{170} von Körperlänge und Körpergewicht. Hierzu bestimmten sie in jeder Altersgruppen von 5 bis 18 Jahren bei 10 Jungen und 10 Mädchen die W_{170} mit kontinuierlich steigender Belastung.

Sie fanden dabei für die Beziehung zwischen Körperlänge und W_{170} bei männlichen und weiblichen Versuchspersonen einen geometrischen progressiven Verlauf. Für die Beziehung zwischen Körpergewicht und W_{170} ergab sich bei männlichen Versuchspersonen eine durchgehend lineare Beziehung, während bei weiblichen Versuchspersonen sich ebenfalls eine lineare Beziehung zwischen beiden Größen ergab, doch war die Regression vor einem Gewicht von 45 kg steiler als bei Kindern oberhalb eines Gewichtes von 45 kg. Das Gewicht von 40 bis 45 kg wird im allgemeinen beim Eintritt in die Pubertät erreicht.

Als Normwerte waren die von diesen Autoren gefundenen Mittelwerte der W_{170} in den verschiedenen Altersklassen jedoch nicht direkt zu verwenden, da sie jeweils auf nur 10 Einzelwerten beruhten. Zufällige Unterschiede im Entwicklungsstand, sowie in einem unterschiedlich hohen Fettanteil am Körpergewicht waren bei einer so geringen Zahl von Versuchspersonen sicher nicht auszuschließen. Um dennoch zu verallgemeinernden Normwerten der W_{170} zu kommen, haben MOCELLIN et al. die Werte der W_{170} in den verschiedenen Altersgruppen der Jungen und Mädchen getrennt aus den gefundenen Gleichungen für die Beziehungen zwischen Körperlänge und W_{170} sowie Körpergewicht und W_{170} rechnerisch ermittelt. Die Untersucher gingen dabei von der

Überlegung aus, daß durch Einsetzen von anerkannten Altersklassenmittelwerten der Körperlänge und des Körpergewichtes statistisch gesicherte Altersklassennormwerte der W_{170} resultieren müßten. Sie benutzten deshalb für ihre weiteren Berechnungen die Altersklassenmittelwerte nach MEREDITH.

Bei einem Vergleich der direkt gefundenen Mittelwerte der W_{170} mit den theoretischen aus den Beziehungen zwischen W_{170} und Körpergewicht bzw. Körperlänge und den Altersklassennormwerten nach MEREDITH berechneten theoretischen Normwerten der W_{170} zeigte sich, daß die Mittelwerte der untersuchten Versuchspersonen vom erwarteten Verlauf sowohl bei den Jungen als auch bei den Mädchen bis zu einem Alter von 12 Jahren nur geringfügig und unregelmäßig abwichen. In den älteren Gruppen lagen die Werte für beide Geschlechter über dem Erwartungswert. MOCELLIN et al. interpretierten dies dahingehend, daß ein Entwicklungsvorsprung der von ihnen untersuchten Probanden gegenüber der von MEREDITH untersuchten Population bestehen müsse.

Die Untersuchung von MACEK et al. (1970) und die vom Ansatz her interessante Arbeit von MOCELLIN et al. machen deutlich, welche Bedeutung einer Bezugsgröße zur Beurteilung ergometrischer Leistungsprüfungen zukommt. Besonders deutlich wird dieses Problem im Kindes- und Jugendalter, wo im Gegensatz zum Erwachsenenalter nicht nur Alters- und Trainingsunterschiede ins Gewicht fallen, sondern darüber hinaus auch noch Unterschiede in der körperlichen Entwicklung mit ihren Auswirkungen auf die Körperzusammensetzung.

Eine in jeder Hinsicht ideale Bezugsgröße müßte aber nach BURMEISTER (1968) folgende Eigenschaften haben :

Als erste sollte der Zusammenhang zwischen Leistungsgröße und Bezugsgröße möglichst offensichtlich sein, wie etwa die Beziehung zwischen Motorleistung und Hubraum.

Die zweite Forderung ist eine dem kausalen Verhältnis angemessene Verknüpfung von Leistung und Bezugsgröße.

Die dritte Forderung an eine optimale Bezugsgröße besteht darin, daß möglichst viele verschiedene Parameter auf sie bezogen werden können; denn dann würde auch die Koordinierung der Leistungsgrößen untereinander ohne Schwierigkeiten möglich sein.

Die vierte Forderung an die Bezugsgröße betrifft die Homogenität des Standards. Darunter wäre zu verstehen, daß die Bezugsgröße in allen Bereichen der Variabilität qualitativ identisch sein müßte.

Die fünfte Forderung betrifft den Gültigkeitsbereich des Standards, der möglichst groß sein sollte.

Weiterhin (sechstens) muß die Bezugsgröße zuverlässig und möglichst einfach meßbar sein.

Und schließlich sollte die Bezugsgröße als siebente Forderung möglichst gute statistische Beziehungen zur Leistungsgröße aufweisen.

Betrachtet man unter diesen Aspekten die in der Literatur angegebenen Bezugsgrößen, so stellt man für die verschiedenen Bezugsgrößen mehr oder weniger große Mängel fest.

Setzt man beispielsweise die Ergebnisse ergometrischer Untersuchungen mit leicht meßbaren Größen, wie etwa der Körperlänge oder dem Körpergewicht in Beziehung, so ist die Streuung recht groß. Sie läßt sich zwar verringern, wenn man, wie ÅSTRAND 1952, isolierte Gruppen betrachtet, doch ist dieser Weg etwa zur Gewinnung von Altersklassennormwerten mit großen Unsicherheiten behaftet.

Zu besseren Ergebnissen kommt man, wenn man als Bezugsgrößen Dimensionsgrößen, wie das röntgenologisch bestimmte Herzvolumen bzw. das Gesamthämoglobin, heranzieht. Dieser Weg wurde z.B. von ÅSTRAND et al. 1963 bzw. KEUL et al. vorgeschlagen. "Ideale" Bezugsgrößen im vorher nach BURMEISTER diskutierten Sinne sind

diese Parameter jedoch sicher auch nicht, da sie auf jeden Fall Röntgenaufnahmen bzw. Blutentnahmen voraussetzen, was im Kindesalter nicht ohne Problematik ist.

ADAMS et al. (1961 a, b) schlugen deshalb vor, als Bezugsgröße den Logarithmus der Körperoberfläche zu verwenden. Dabei gingen sie von der Hypothese aus, daß

1. die Regression zwischen W_{170} und den Körpermaßen sich innerhalb größerer Altersabschnitte nicht ändere
2. die Streuung über die Regressionslinie in allen Bereichen gleich bleiben würde.

RUTENFRANZ und MOCELLIN konnten jedoch anhand von Untersuchungen über die körperliche Leistungsfähigkeit gesunder und kranker Heranwachsender, in der sie sich speziell mit der Frage von Normwerten und Bezugsgrößen körperlicher Leistungsfähigkeit befassten, nachweisen, daß die Beziehung zwischen W_{170} und Körperoberfläche bei beiden Geschlechtern geometrisch progressiv verläuft. Zu diesem Verlauf kommt es durch den besonders ausgeprägten geometrisch progressiven Verlauf der Beziehung zwischen Körperlänge und W_{170} . Da die Körperoberfläche ja bekanntlich eine aus Körperlänge und Körpergewicht errechnete Größe ist, macht sich der Einfluß der Körperlänge besonders bemerkbar, denn die Beziehung W_{170} zu Körpergewicht verläuft bei Jungen linear, bei den Mädchen zwar auch linear, jedoch mit unterschiedlicher Steigung der Regressionsgeraden vor und nach der Pubertät.

Auch die zweite These von ADAMS et al. (a, b) konnten RUTENFRANZ und MOCELLIN nicht bestätigen. Sie fanden, daß die Streuung über die Regressionslinie nicht parallel verläuft, sondern daß sie entsprechend der relativen Streuung divergiert. Die Untersucher schlugen deshalb vor, für die Beurteilung Teilregressionen für verschiedene Altersgruppen zu bilden.

HEBBELINCK et al. sowie ROUS und VANK versuchten im Ossifikationsalter eine geeignete Bezugsgröße zu gewinnen. HEBBELINCK et al. konnten jedoch in vier extremen Fällen, die im Ossifikationsalter im Vergleich zum Lebensalter weit voraus bzw. weit zurück waren, keine von der Altersnorm abweichenden Werte für die W_{170} finden. Diese Tatsache und die zur Bestimmung des Ossifikationsalters notwendige Röntgenaufnahme machen diese Größe damit zu keiner brauchbaren Bezugsgröße.

Aus der Überlegung heraus, daß der eigentlich biologisch aktive Teil des Körpers bei körperlicher Arbeit eine gute Bezugsgröße darstellen müsste, versucht man die fettfreie Körpermasse als Bezugsgröße zu verwenden. Neben anderen Verfahren haben sich heute im wesentlichen für die Bestimmung dieser Größe drei Methoden durchgesetzt :

1. Die Feststellung des spezifischen Gewichtes durch Unterwasserwägungen,
2. Hautfaltenmessungen,
3. die Kalium-40-Methode.

Das Verfahren des hydrostatischen Wägens geht auf die Beobachtung von BEHNKE et al. zurück, die feststellten, daß das spezifische Gewicht ein besseres Maß für das Depotfett des Körpers darstellte, als die bis dahin gebräuchlichen Längen-, Gewichts- und Alterstabellen. KEYS und BROŽEK gaben später Formeln an, anhand derer der prozentuale Fettgehalt des Körpers auf Grund solcher Wägungen errechnet werden konnte.

Ein entscheidender Nachteil dieser Methode ist aber, daß neben dem Gewicht der vollkommen untergetauchten Versuchsperson auch noch das funktionelle Residualvolumen bestimmt werden muß, was technisch nicht ganz leicht und in Feldversuchen praktisch unmöglich ist.

Aktuelle Bedeutung erlangten die Probleme der Bestimmung der Körperzusammensetzung im Verlauf des zweiten Weltkrieges, als Musterungskommissionen darüber zu entscheiden hatten, ob ein

Rekrut wegen seines Übergewichtes vom Wehrdienst zurückgestellt werden mußte oder nicht. Die Unzulänglichkeiten der bis dahin gebräuchlichen Längen-, Gewichts- und Alterstabellen wurden dabei offensichtlich, als man amerikanische Footballprofis wegen "Übergewicht" auf Grund dieser Tabellen "untauglich" erklären mußte, obwohl sie alles andere als fettleibig und vermindert leistungsfähig waren.

KEYS und BROZEK gelang es danach, Formeln zu entwickeln, mit denen man aus Messungen verschiedener Hautfaltendicken mit hinreichender Genauigkeit den prozentualen Fettanteil am Körpergewicht errechnen konnte. PAŘÍŽKOVÁ sowie BURMEISTER u. FROMBERG entwickelten diese Methode weiter, so daß sie auf Grund ihres geringen Aufwandes mittlerweile weite Anerkennung als Routineverfahren gefunden hat.

Auf der Suche nach besseren Methoden zur Bestimmung der Körperzusammensetzung machte man sich in der Folgezeit die natürliche Radioaktivität des im Körper vorhandenen Kaliums zunutze (FORBES und LEWIS). Ausgehend von der Beobachtung, daß das gesamte in der Natur vorkommende Kalium zu 0,012 % aus radioaktivem Kalium-40 besteht, das pro g 2,96 Gamma/sec ausstrahlt, war es theoretisch möglich, das Körperkalium aus der gemessenen natürlichen Radioaktivität zu errechnen. Die Messung dieser sehr geringen Gammastrahlung wurde technisch durch die Verwendung von hochempfindlichen Flüssigkeitszintillatoren im "body counter" möglich.

Direkte chemische Analysen ließen nun vermuten, daß eine konstante Beziehung zwischen Körperkalium und "fettfreier Körpermasse" (lean body mass) mit ungefähr 68,1 mVal/kg besteht (FORBES und LEWIS), wobei jedoch stets zu bedenken ist, daß die gefundenen Werte zwischen 66,5 und 72,6 mVal/kg schwankten. Weiterhin konnte nachgewiesen werden, daß sich 98 % des Körperkaliums intrazellulär, der Rest in der Extrazellulärenflüssigkeit befindet. Die weitaus größte Menge des intrazellulären Kaliums befindet sich in den Muskelzellen und in den fettfreien Körperteilen, während die Haut und die Knochen weit weniger und

das Körperfett praktisch kein Kalium enthalten.

Die Untergliederung der Zellmasse in Muskel und Parenchymzellmasse wurde ebenfalls möglich, indem man die renale Kreatininausscheidung bestimmte, die der Muskelmasse weitgehend proportional ist (MOORE et al.). Die Parenchymzellmasse ergibt sich dann aus der Differenz zwischen Zellmasse und Muskelmasse.

Auf Grund dieser Beobachtung entwickelten FORBES et al.; CHRISTIAN et al. sowie BURMEISTER (1965) Methoden, die es möglich machten, die prozentuale Körperzusammensetzung mit hinreichender Genauigkeit zu bestimmen.

Aus diesem Grunde haben vor allem KEYS und BROZEK, PŘÍŽKOVÁ, von DÜBELN sowie BURMEISTER (1970) vorgeschlagen, neben den traditionellen Körpermaßen auch die modernen Körpermaße wie fettfreie Körpermasse sowie Zellmasse als Bezugsgrößen der körperlichen Leistungsfähigkeit zu verwenden.

3. Abhängigkeit der W_{170} vom Trainingszustand und von der beruflichen Aktivität bei Erwachsenen

Während die beiden ersten Lebensjahrzehnte eines Menschen durch eine natürliche Zunahme der körperlichen Leistungsfähigkeit gekennzeichnet sind, findet sich ab der dritten Lebensdekade ein allmähliches Nachlassen der Leistungsfähigkeit. Es ist hierbei schwierig zu entscheiden, inwieweit dieser Vorgang durch physiologische Alterungsvorgänge bedingt ist, oder aber durch Einflüsse wie Trainingsdefizit oder Übergewicht.

Unter der physiologischen Alterung versteht man irreversible Veränderungen der lebenden Substanz als Funktion der Zeit (BÜRGER). Sie ist charakterisiert durch Involutionen innerer Organe und läßt sich durch folgende Parameter nachweisen (KRAHL) :

1. Verminderung des maximal möglichen Herzzeitvolumens (Abnahme der maximalen Herzfrequenz und des maximalen Schlagvolumens) (ROBINSON, ÅSTRAND 1952, FISCHER et al.)
2. Herabsetzung der maximalen arterio-venösen Sauerstoffdifferenz (periphere Mangelkapillarisation, unökonomische Blutverteilung)
3. Elastizitätsverlust der Aorta mit zunehmender Herzarbeit
4. Verminderung der Ventilations- und Diffusionskapazität der Lunge infolge Involutionen an Alveolen und Kapillaren
5. Qualitative und quantitative Veränderungen in den Stoffwechseldepots und im Fermentsystem

Als Folge dieser Veränderungen macht sich bei älteren Menschen ein Leistungsverlust bemerkbar. Bedeutungsvoll ist aber die Erkenntnis von HOLLMANN (1965), daß Bewegungsarmut im Sinne eines Trainingsdefizites für sich alleine ebenfalls eine Leistungsminderung gleicher Qualität verursachen kann, d.h. es ist nicht nur der Alterungsprozeß alleine, der für die eingeschränkte Leistungsfähigkeit des älteren Menschen verantwortlich ist.

In Umkehrung dieser Tatsache ließ sich nachweisen, daß durch sinnvolles Training physische Funktionen aufrecht erhalten werden können, deren Ausmaß mit dem Wert der maximalen O₂-Aufnahme korreliert. So konnte STEGEMANN zeigen, daß regelmäßig trainierende Sechzigjährige gleiche Werte der maximalen Sauerstoffaufnahme erreichten wie untrainierte Fünfundzwanzigjährige, obschon normalerweise die maximale O₂-Aufnahme bei Fünfundsiebzigjährigen auf etwa die Hälfte des Wertes Fünfundzwanzigjähriger abgesunken ist.

Auf der Basis dieser und anderer theoretischer Überlegungen sind mittlerweile Übungsprogramme erarbeitet worden, die Ein-

gang in die präventive und rehabilitative Medizin gefunden haben. Es handelt sich dabei vorwiegend um ein Ausdauertraining, das sich wahlweise mit Laufen, Schwimmen, Radfahren, aber auch mit Ballspielen durchführen läßt (HOLLMANN 1971; COOPER; LANG). Bemerkenswert ist weiterhin, daß in Trainingsprogrammen zum Hochleistungssport erwachsener Athleten zumindest für Langstreckendisziplinen das Dauerlauftraining weite Verbreitung gefunden hat, nachdem lange Zeit das Intervalltraining als günstiger und effektiver angesehen wurde.

Auf Grund des vorher Gesagten ist es eigentlich erstaunlich, daß Untersuchungen über die Abhängigkeit der körperlichen Leistungsfähigkeit vom Lebensalter und vom Trainingszustand mit Hilfe der W_{170} nicht sehr zahlreich sind; denn die Bestimmung der W_{170} dürfte in höherem Lebensalter unproblematischer sein als eine Bestimmung der maximalen O_2 -Aufnahme. Außerdem dürften die physiologischen Alterungsvorgänge ebenso interessant sein wie die oft untersuchten physiologischen Wachstumsvorgänge im Kindesalter.

Aktuelle Bedeutung erlangen solche Erkenntnisse, wenn man die bemerkenswerte Bevölkerungsumschichtung hinsichtlich des Lebensalters in den meisten zivilisierten Ländern seit Beginn des 20. Jahrhunderts berücksichtigt (JOKL). So hat sich beispielsweise die Lebenserwartung des Menschen in den letzten hundert Jahren nahezu verdoppelt, sie beträgt heute etwa 70 Jahre. Zudem konnte JOKL nachweisen, daß noch im Jahre 1950 die Altersgruppe der über 65-jährigen Personen den gleichen zahlenmäßigen Anteil an der Gesamtbevölkerung hatte wie die 5 - 15-jährigen. Dagegen soll sich bei anhaltendem Trend bis zum Jahre 2000 das Verhältnis auf 7 : 1 zugunsten älterer Menschen verschoben haben. Diese Prognose erscheint zur Zeit eher noch untertrieben, nachdem durch die Anwendung der Ovulationshemmer ein signifikanter Geburtenrückgang zu verzeichnen ist.

Die wichtigsten Untersuchungen über die Bestimmung der körperlichen Leistungsfähigkeit mit Hilfe der W_{170} bei Erwachsenen wurden in Tab. 1 aufgeführt.

UNTERSUCHER	Untersuchungsgut		Alter		Berufsgruppen	W ₁₇₀ mkp/min	Beurteilung
	n	Gesundheits- bzw. Trainingszustand	von-bis	$\bar{x}$			
WAHLUND 1948	469	gemischt (männlich)	19 - 66	-	gemischt	> 1200 900-1200 < 900	gute Leist.fähigk. "Normwerte" schlechte Leist.fähigk.
	68	keine obj. Krankh. z.	21 - 44	27	gemischt	1019	Mittelwerte
	67	Tracheobronchitis	26 - 58	40	"	1146	
	40	normal	20 - 60	32	"	1215	
	26	leicht trainiert	21 - 23	21	Soldaten	1558	
	27	gut trainiert	19 - 43	27	Sportler	1689	
CUMMING 1967	51	normal (männlich)	20 - 40		Med. Studenten	1038	Mittelwerte
	26	"	"	"	Ärzte	1053	
	27	"	"	"	Rekruten	1058	
	38	"	"	"	Manager	1091	
	12	"	"	"	Arbeiter	1094	
	28	normal (weiblich)	20 - 40		Schw. Schülerinnen	515	Mittelwerte
	54	"	"	"	Schwestern	659	
	26	"	"	"	MTA's	727	
	26	"	"	"	Med. Studentinnen	835	
	27	Sportler (männlich)	20 - 40		Gewichtheber	1177	Mittelwerte
	22	"	"	"	Wasserballer	1310	
	27	"	"	"	Mittelstrecker	1551	
GRIMBY 1966	7	Sportler (männlich)	45 - 55	52	Dauerleistungen	1374	Mittelwert
SALTIN 1969	42	normal (männlich)	34 - 55	41	gemischt	1063 1293	vor Training nach Training
	-	normal (männlich)	18 - 39		gemischt	900	"Normwerte"
KELLERMANN et al. 1970	-	"	40 - 50		"	750	
	-	"	51 - 60		"	625	

Tab. 1 : W₁₇₀ (mkp/min) in Abhängigkeit von Alters-, Trainingszustand und beruflicher Aktivität nach Angaben in der Literatur

So untersuchte WAHLUND insgesamt 469 männliche Versuchspersonen im Alter zwischen 19 und 66 Jahren. Im einzelnen setzte sich sein Untersuchungsgut aus 189 Arbeitern eines Schmelzwerkes, 27 "normalen" gesunden Versuchspersonen, 27 Sportlern und 188 Soldaten zusammen. Unter anderem teilte WAHLUND sein Untersuchungsgut nach Gruppen ein, die einer klinischen Diagnose entsprachen oder, wenn das nicht möglich war, nach klinischen Symptomen. Die wichtigsten und größten Gruppen stellten die Gruppe 9 (keine objektive Zeichen von Herz- oder Lungenerkrankungen) mit 68 Fällen im Alter von 21 - 44 Jahren (Mittel 27 J.), die Gruppe 13 (Tracheobronchitis ohne Zeichen eines Lungenemphysems) mit 67 Fällen im Alter von 26 - 58 Jahren (Mittel 40 J.), sowie die Gruppen 14, 15 und 16 dar. Die letztgenannten Gruppen setzten sich entsprechend der vorherigen Reihenfolge aus 40 gesunden Versuchspersonen im Alter von 20 - 60 Jahren (Mittel 32 J.), 26 mäßig trainierten Versuchspersonen zwischen 21 und 23 Jahren (Mittel 21 J.) und 27 Sportlern im Alter zwischen 19 - 43 Jahren (Mittel 27 J.) zusammen.

WAHLUND konnte zeigen, daß 87 % der gesunden Versuchspersonen (Gruppe 14) eine W_{170} von 1200 mkp/min erreichten; der Rest lag bei 900 mkp/min. In der Gruppe der Sportler (Gruppe 16) fand sich keine W_{170} unter 1200 mkp/min, während in der Gruppe der mäßig Trainierten nur 8 % mit einer W_{170} von 900 mkp/min unter der Marke von 1200 mkp/min lagen. WAHLUND kam aus diesem Grund bei der Diskussion der Frage einer "normalen" W_{170} im Erwachsenenalter zu dem Schluß, daß eine Belastung von 900 mkp/min, die etwa einer O_2 -Aufnahme von 1,5 - 2,0 l/min entspricht, keine zu schwere Belastung für einen gesunden erwachsenen Mann darstellen dürfe. Die Belastung von 1200 mkp/min konnte von einigen "normalen" Versuchspersonen zwar nicht geleistet werden, die Mehrzahl der gesunden Probanden erreichten jedoch 1200 mkp/min, so daß dieser Wert mit gewissen Einschränkungen als Richtwert dienen sollte; eine W_{170} von etwa 900 mkp/min kann darum als etwas unter der Norm liegend angesehen werden, während Werte unter 900 mkp/min als pathologische Werte für erwachsene männliche Versuchspersonen bezeichnet werden müssten.

Betrachtet man unter diesen Aspekten die beiden großen Gruppen 9 (keine Zeichen einer Herz- oder Lungenerkrankung) und 13 (Tracheobronchitis ohne Zeichen eines Lungenemphysems), so findet man in der Gruppe 9 insgesamt 10 pathologische, 49 normale und 9 übernormale W_{170} -Werte, während in der Gruppe 13 (Tracheobronchitis ohne Emphysem) nur 2 Werte unter 900 mkp/min, 52 Werte im Normbereich und 13 Werte über dem Normbereich lagen. Die Gruppen mit der höchsten Anzahl pathologischer Werte sind die Gruppen der Hypertoniker und der Versuchspersonen mit akuter Myokarditis oder Myokarditisverdacht.

Zu ähnlichen Ergebnissen bezüglich der Normwerte für die W_{170} im Erwachsenenalter kommen KELLERMANN et al. Sie geben als normale W_{170} für Personen im Alter von 18 - 38 Jahren 150 W (= 900 mkp/min), von 40 - 50 Jahren 125 W (= 750 mkp/min) und von 51 - 60 Jahren 112,5 W (= 625 mkp/min) an.

Untersuchungen zur Frage der W_{170} in verschiedenen Berufsgruppen sind noch seltener als Untersuchungen zur Frage einer normalen körperlichen Leistungsfähigkeit im Erwachsenenalter. Darum ist es besonders bedauerlich, daß es auch nachträglich nicht möglich ist, aus den Rohdaten von WAHLUND verschiedene Alters-, Berufs- und Leistungsgruppen zu bilden.

Nur CUMMING berichtet lediglich über entsprechende Untersuchungen an 230 Männern und 134 Frauen verschiedener Berufs- und Leistungsgruppen mit Hilfe der W_{170} . Alle Versuchspersonen waren zwischen 20 und 40 Jahre alt, da nach Ansicht des Untersuchers die Bestimmung der W_{170} nur bis zu einem Lebensalter von 40 Jahren brauchbar ist.

Im einzelnen kam er bei der Untersuchung von 25 Medizinstudenten aus Winnipeg und 26 Medizinstudenten aus Stockholm zu dem Ergebnis, daß die schwedischen Studenten mit einer mittleren W_{170} von 1111 mkp/min deutlich leistungsfähiger als ihre kanadischen Kommilitonen mit 964 mkp/min waren. Auch 26 schwedische Manager waren mit 1144 mkp/min deutlich leistungsfähiger als 12 kanadische Kollegen, die nur 1038 mkp/min erreichten. Interessant

ist weiterhin, daß 26 Stockholmer Ärzte mit einer W_{170} von 1053 mkp/min praktisch die gleiche Leistungsfähigkeit aufwiesen wie 27 schwedische Armeefreiwillige, die eine mittlere W_{170} von 1058 mkp/min erreichten.

Deutlich höhere Werte erreichten zum Teil aktive Sportler. So waren 22 kanadische Wasserballspieler mit 1310 mkp/min deutlich besser leistungsfähig als die bis dahin untersuchten männlichen Versuchspersonen. Die besten Leistungen vollbrachten 27 schwedische Mittelstreckenläufer, die im Mittel 1551 mkp/min erreichten. 27 schwedische Gewichtheber lagen erwartungsgemäß mit einer W_{170} von 1177 mkp/min nur unwesentlich über dem Wert vergleichbarer "Normalpersonen".

Deutliche Unterschiede in der körperlichen Leistungsfähigkeit zeigten sich auch bei einem Vergleich kanadischer und schwedischer Klinikbediensteten. So erreichten 25 kanadische Schwestern nur eine W_{170} von 478 mkp/min, während eine Gruppe von 28 Lernschwestern ihre examinierten Kolleginnen mit 515 mkp/min nur unwesentlich übertraf. Deutlich bessere Leistungen zeigten dagegen 26 schwedische medizinisch-technische Assistentinnen und 26 Medizinstudentinnen, die mit 727 bzw. 835 mkp/min ihre Kolleginnen aus Kanada um ca. 50 % übertrafen. In guter körperlicher Verfassung präsentierte sich schließlich eine Gruppe von 29 schwedischen Schwestern, die mit einer mittleren W_{170} von 840 mkp/min einen für Frauen erstaunlich hohen Wert erreichte.

Als Beispiel dafür, wie durch systematisches Training die körperliche Leistungsfähigkeit bis ins höhere Alter erhalten werden kann, möge die Arbeit von GRIMBY et al. gelten. Die Untersucher bestimmten bei 9 gut trainierten älteren Sportlern zwischen 45 und 55 Jahren (Querfeldeinläufe und Skilangläufe mit mindestens 20 Jahren intensivem Training und Wettkämpfen) die maximale O_2 -Aufnahme, das Herzzeitvolumen, die Herzfrequenz und den arteriellen Blutdruck im Liegen und Sitzen, sowie bei submaximaler und maximaler Arbeit in sitzender Position. Es konnte gezeigt werden, daß die maximale O_2 -Aufnahme mit 3560 ml/min etwas unter den Werten jüngerer Vergleichspersonen

lag, während die Beziehung zwischen maximalem Schlagvolumen und Herzvolumen sich nicht von den Werten der Vergleichspersonen unterschied. Der Anstieg der arterio-venösen O_2 -Differenz bei maximaler Belastung lag jedoch deutlich unter den Werten jüngerer Vergleichspersonen und schien der limitierende Faktor für die geringere maximale O_2 -Aufnahme in diesem Lebensalter zu sein. Wie gut trainiert diese älteren Sportler dennoch waren, zeigen die für sieben Versuchspersonen aus den Rohdaten bestimmten W_{170} -Werte. Sie lagen bei einem durchschnittlichen Lebensalter von 52,4 Jahren im Mittel bei 1374 mkp/min (1000 - 1555 mkp/min).

Abschließend kann gesagt werden, daß eine systematische körperliche Aktivität demnach die körperliche Leistungsfähigkeit auf einem Niveau jüngerer Alterskategorien hält, indem sie ein Absinken der Leistungsfähigkeit deutlich verlangsamt (FISCHER et al., HOLLMANN). Aber auch durch Inaktivität verlorengegangene körperliche Leistungsfähigkeit läßt sich durch entsprechendes Training selbst in höherem Alter wiederherstellen. So konnten SALTIN et al. (1969) zeigen, daß sich die maximale O_2 -Aufnahme bei 42 älteren Versuchspersonen im Alter zwischen 34 und 50 Jahren (Mittel : 40,5 Jahre) durch ein 8 - 10-wöchiges Fitness-Training um 15 % von 2,89 l/min auf 3,44 l/min erhöhte. Die maximale Pulsfrequenz sank im gleichen Zeitraum von 193 auf 186 Schläge pro Minute ab, während die Pulsfrequenz auf vergleichbaren submaximalen Belastungsstufen um 10 - 20 Schläge in der Minute sank. Die daraus resultierende bessere absolute W_{170} lag mit 1293 mkp/min deutlich über dem Ausgangswert von 1063 mkp/min. Die relative W_{170} stieg trotz geringer Gewichtszunahme der Versuchspersonen (78,2 gegenüber 77,9 kg vor Versuchsbeginn) von 2,31 W/kg auf 2,71 W/kg an. Weiterhin zeigte sich eine Zunahme des Herzzeitvolumens von 13 %, die durch eine Zunahme des maximalen Schlagvolumens bedingt war. Ebenfalls günstig dürfte sich bei der großen Zahl von Hypertonikern im Erwachsenenalter eine Verminderung des arteriellen Blutdrucks um 5 mm Hg im Mittel unter Ruhebedingungen auswirken, die sich als Nebeneffekt des Trainings älterer Personen nachweisen ließ (HARTLEY et al.).

Aus den dargelegten Befunden der Literatur ergibt sich somit, daß die W_{170} eine Kenngröße der kardiopulmonalen Leistungsfähigkeit darstellt, die sowohl bei Kindern als auch bei Erwachsenen und älteren Personen bestimmt werden kann. Ihre besondere Bedeutung liegt offensichtlich darin, daß sie mit geringerem technischem Aufwand zu ermitteln ist als beispielsweise die maximale O_2 -Aufnahmefähigkeit. Aus diesem Grunde dürfte sich diese Methode besonders für die arbeitsmedizinische Praxis eignen.

Da andererseits aus der aufgeführten Literatur hervorgeht, daß wesentliche Probleme zur Methodik (stufenweise oder kontinuierlich ansteigende Belastung, testtheoretische Bewertung der Methode), zur Wahl der Bezugsgröße und zur Erstellung von Normwerten für verschiedene Altersgruppen offengeblieben sind, erschien es notwendig, diesen Fragen an Hand eigener Untersuchungen erneut nachzugehen.

II. EIGENE UNTERSUCHUNGEN

1. Methodik

1.1. Untersuchungsgut

An den Vergleichsuntersuchungen nahmen insgesamt 78 männliche Versuchspersonen im Alter zwischen 9 und 25 Jahren teil. Wir teilten das Untersuchungsgut in folgende vier Altersgruppen ein :

- Gruppe I : 9 - 10 Jahre
- Gruppe II : 13 - 14 Jahre
- Gruppe III : 17 - 18 Jahre
- Gruppe IV : 20 - 25 Jahre

In Tab. 2 sind für die einzelnen Altersgruppen die Mittelwerte hinsichtlich des Lebensalters, der Körperlänge und des Gewichtes aufgeführt.

Alters- gruppen	n	Alter (Jahre)		Körperlänge (cm)		Körper- gewicht (kg)	
		AM	SD	AM	SD	AM	SD
I (9 - 10 J.)	20	9,80	0,51	139,1	5,2	32,3	3,0
II (13 - 14 J.)	19	13,85	0,58	163,1	8,0	51,0	7,1
III (17 - 18 J.)	20	17,58	0,52	179,8	6,4	73,7	9,3
IV (20 - 25 J.)	19	21,97	1,50	178,2	5,3	73,7	6,7

Tab. 2 : Arithmetische Mittelwerte (AM) $\pm$ Streuungen (SD) für Lebensalter, Körperlänge und Körpergewicht der in den Vergleichsuntersuchungen bei verschiedenen Formen des Leistungsanstieges untersuchten Versuchspersonen

Obschon es unsere Absicht war, in jeder Gruppe 20 Versuchspersonen zu untersuchen, mußten wir in Gruppe II und IV geringfügig davon abweichen, da einzelne Versuchspersonen während der

Versuchsreihe infolge einer Sportverletzung ausfielen. Die Versuchspersonen der Gruppen I bis III stammten überwiegend aus Giessener Volks-, Real- und Höheren Schulen. Zwölf der 17- bis 18-jährigen waren berufstätig. Die älteste Gruppe (IV) setzte sich aus Sportstudenten an der Justus Liebig-Universität Gießen und aus Bundeswehrangehörigen zusammen.

Der Trainingszustand der untersuchten Versuchspersonen war unterschiedlich. In Gruppe I gehörten 50 % der Versuchspersonen einem Sportverein an, wo sie regelmäßig unter Anleitung trainierten. Bei den Gruppen II und III lag der Prozentsatz der regelmäßig Sporttreibenden bei 90 %. In der ältesten von uns untersuchten Gruppe nahmen nur noch drei unserer Versuchspersonen an einem besonderen Training teil, während die übrigen eine regelmäßige sportliche Aktivität im Rahmen ihrer Sportlehrerausbildung bzw. während des Dienstes bei der Bundeswehr ausübten. Alle Probanden wurden vor dem ersten Versuch klinisch untersucht.

An den Untersuchungen zur Bestimmung der Abhängigkeit der W_{170} vom Alter, vom Trainingszustand und von Berufsgruppenzugehörigkeit nahmen insgesamt 716 männliche und 326 weibliche Personen im Alter zwischen 5 und 55 Jahren teil. Von diesem Untersuchungsgut entfielen 326 Mädchen und 401 Jungen auf die Altersgruppe von 5 - 18 Jahren. Diese Heranwachsenden stammten aus Kindergärten, Volks-, Mittel-, Höheren und Berufsschulen der Stadt Gießen. Einige von ihnen waren Studenten des ersten Semesters der Justus Liebig-Universität Gießen. Adipöse ab einem Übergewicht von > 40 % des Längensollgewichts und Spitzensportler wurden nicht in dieses Untersuchungsgut aufgenommen. Weitere Einzelheiten zur Charakterisierung des Untersuchungsgutes finden sich in Tab. 3 und 4.

Als daran anschließende Altersgruppe mit einer im Durchschnitt geringen täglichen körperlichen Aktivität untersuchten wir 196 Fluglotsen im Alter von 19 - 55 Jahren. Die Fluglotsen waren bis auf wenige Ausnahmen völlig untrainiert. Auffallenderweise wiesen ältere Fluglotsen jedoch durchweg einen etwas besseren Trainingszustand auf als jüngere. Dies könnte daran liegen, daß

n		Alter (Jahre)		Körperlänge (cm)		Körper- gewicht (kg)	
		AM	SD	AM	SD	AM	SD
5	12	5,43	0,31	117,1	7,7	22,2	4,0
6	13	6,68	0,19	123,9	3,4	23,5	2,4
7	33	7,45	0,28	124,8	5,8	24,4	3,9
8	26	8,59	0,29	132,2	4,9	28,1	3,4
9	43	9,44	0,28	137,9	6,8	31,4	4,5
10	35	10,46	0,30	141,8	7,6	34,3	6,4
11	29	11,53	0,26	147,3	6,7	38,5	6,0
12	33	12,45	0,32	153,8	7,5	42,6	7,6
13	32	13,51	0,32	159,2	7,9	48,0	8,2
14	36	14,49	0,29	165,9	8,4	52,9	9,2
15	24	15,53	0,32	171,0	9,2	59,1	9,4
16	31	16,56	0,27	176,6	6,5	67,8	6,0
17	32	17,47	0,32	178,8	5,8	68,0	6,5
18	22	18,52	0,28	173,3	5,2	67,0	5,9

Tab. 3 : Arithmetische Mittelwerte (AM) $\pm$ Streuungen (SD) für Lebensalter, Körperlänge und Körpergewicht der zur Ermittlung von Altersklassennormwerten untersuchten Jungen

n		Alter (Jahre)		Körperlänge (cm)		Körper- gewicht (kg)	
		AM	SD	AM	SD	AM	SD
5	11	5,57	0,29	115,3	3,8	20,5	2,6
6	14	6,54	0,29	121,3	5,3	23,6	2,6
7	27	7,50	0,26	124,8	6,2	23,8	3,3
8	32	8,53	0,32	133,3	5,8	28,1	3,7
9	33	9,50	0,36	136,2	5,0	30,4	3,7
10	27	10,46	0,33	140,7	7,5	32,8	5,1
11	26	11,51	0,28	147,9	6,8	38,7	5,1
12	26	12,56	0,28	156,6	6,6	46,5	8,2
13	35	13,55	0,24	160,8	5,2	48,9	6,4
14	28	14,51	0,27	163,0	4,9	53,6	7,9
15	20	15,41	0,31	165,2	6,3	54,3	6,9
16	17	16,57	0,31	164,3	6,0	54,4	5,5
17	14	17,49	0,34	166,5	5,2	55,6	6,6
18	16	18,47	0,24	163,4	7,6	53,9	6,4

Tab. 4 : Arithmetische Mittelwerte (AM) $\pm$ Streuungen (SD) für Lebensalter, Körperlänge und Körpergewicht der zur Ermittlung von Altersklassennormwerten untersuchten Mädchen

sie meist schon einen einen Monat dauernden Kuraufenthalt in einem Kreislaufzentrum hinter sich hatten. Anamnestisch ergab sich, daß nur 23 % der Fluglotsen regelmäßig Freizeitsport trieben, wobei meistens eine Stunde Schwimmen in der Woche angegeben wurde. 33 % der Fluglotsen spielten regelmäßig in Dienstpausen am Arbeitsplatz Tischtennis. Nur vier Lotsen waren noch aktiv in einem Sportverein tätig. Der Rest, etwa die Hälfte aller Lotsen, trieb keinerlei Sport. Zur täglichen Arbeit der Lotsen muß noch gesagt werden, daß sie ihre Tätigkeit fast ausschließlich sitzend verrichteten; außerdem arbeiteten sie im Schichtdienst rund um die Uhr (KNAUTH und RUTENFRANZ, SINGER und RUTENFRANZ).

Als Gruppe mit einer mittleren täglichen körperlichen Aktivität untersuchten wir 101 Sportstudenten im Alter von 19 bis 31 Jahren, die ihre Ausbildung am Sportwissenschaftlichen Institut der Justus Liebig-Universität Gießen absolvierten. Sie betätigten sich neben ihrer Sportausbildung durchweg auch noch sportlich in ihrer Freizeit, ohne jedoch ein ausgesprochenes Wettkampftraining zu absolvieren. Der Trainingszustand dieser Gruppe konnte als mäßig bis leicht trainiert bezeichnet werden.

Als Gruppe mit besonders hoher täglicher körperlicher Aktivität wurde eine Gruppe von 18 Hochleistungssportlern ausgewählt. Diese trainierten zum Teil mehrere Stunden am Tag. Diese Gruppe setzte sich zusammen aus : 11 Basketballern (Deutsche Vizemeister 1972), 1 Handball-Nationalspieler, 1 Orientierungsläufer, der mehrfach an Europa- und Weltmeisterschaften teilgenommen hatte, 2 Leichtathleten, 1 Kanuten und 1 Ruderer der nationalen Spitzenklasse sowie 1 Einzelkämpfer der Bundeswehr.

Weitere Einzelheiten zur Kennzeichnung der verschiedenen Gruppen finden sich in Tab. 5

An unseren Untersuchungen über die Beziehungen zwischen körperlicher Leistungsfähigkeit (W_{170}) und der Zellmasse nahmen 38 Jungen und 27 Mädchen im Alter zwischen 8 und 16 Jahren teil. Diese Kinder wohnten in einem Waisenhaus der Stadt Landstuhl und

Gruppe	n	Alter (Jahre)		Körperlänge (cm)		Körper- gewicht (kg)	
		AM	SD	AM	SD	AM	SD
1. Fluglotsen							
a) 19 - 25	36	22,54	2,00	178,9	6,1	74,0	7,4
b) 26 - 30	42	28,98	1,29	179,8	7,8	75,8	9,8
c) 31 - 35	80	33,36	1,44	177,8	6,7	76,2	10,0
d) 36 - 45	23	39,61	2,13	178,4	8,1	79,7	9,8
e) 46 - 55	13	49,39	2,34	175,0	6,1	77,2	9,6
2. Sportstudenten	101	21,74	1,90	179,4	7,4	74,0	8,0
3. Hochleistungssportler	18	22,71	2,74	183,4	5,6	79,9	8,1

Tab. 5 : Arithmetische Mittelwerte (AM) $\pm$ Streuungen (SD) für Lebensalter, Körperlänge und Körpergewicht der zur Klärung der Abhängigkeit der W_{170} vom Alter, Trainingszustand und beruflicher Aktivität untersuchten Erwachsenen

befanden sich in einem guten Ernährungs- und Gesundheitszustand. Sie standen unter regelmäßiger ärztlicher Kontrolle der Universitäts-Kinderklinik Homburg a.d. Saar. Weitere Einzelheiten zur Kennzeichnung dieser Gruppe finden sich in Tab. 14 und 15 (s. S. 65 und 66).

1.2. Meßanordnungen

1.2.1. Fahrradergometer

Zur Messung der verlangten Leistungen benutzten wir ein Fahrradergometer nach MÜLLER und OLECH. Es handelt sich hierbei um ein permanentmagnetisch gebremstes Fahrradergometer. Als Besonderheit weist dieses Ergometer eine Vorrichtung auf, die es erlaubt, die verlangte Leistung sowohl stufenweise als auch kontinuierlich zu erhöhen. Wir führten unsere Untersuchungen bei einer Drehzahl von 60 Pedalumdrehungen pro Minute aus, die Drehzahl wurde mit einem optischen Schrittmacher kontrolliert (s. Abb. 1). Durch einen zusätzlichen Stellmotor konnte die Anstiegsgeschwindigkeit bei kontinuierlich steigender Leistung zwischen 60 und 120 mkp/min² variiert werden.

Der normale Leistungsbereich des Ergometers reichte bis 1500 mkp/min. Dies war nur hinreichend für die Leistungsfähigkeit der Kinder bis zu 14 Jahren. Bei den älteren Gruppen wurde zur Feststellung der maximalen Leistung ein Zusatzmagnet von 900 m/min hinzugeschaltet, so daß wir insgesamt einen Bereich bis zu 2400 mkp/min vorgeben konnten. Der Zusatzmagnet mußte bei unseren Untersuchungen im allgemeinen erst ab einer Pulsfrequenz von 170 pro Minute eingeschaltet werden.

Bei den Untersuchungen an den kleinsten Kindern wurde das Fahrradergometer so umgerüstet, daß ein Kindersattel und kürzere Pedalen zur Verwendung kamen.

Das benutzte Ergometer wurde im Abstand von vier Wochen bzw. vor jeder Außenuntersuchung mit Hilfe einer Drehmomentenwaage über den ganzen Bereich nachgeeicht. Außerdem wurde der Meßpunkt 10 mkp/sec in kürzeren Zeitabständen mit Hilfe der eingebauten

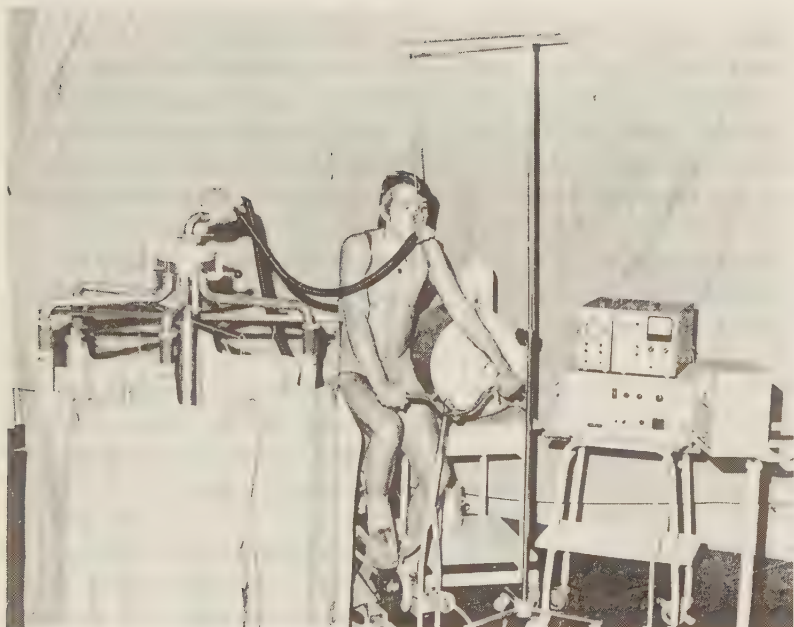


Abb. 1 : Versuchsaufbau zur Bestimmung der maximalen O_2 -Aufnahme mit einer Douglassack-Methode, die einen schnellen Wechsel der Douglassäcke erlaubt

Drehmomentwaage überprüft.

1.2.2. Messung der Herzfrequenz

Zur Messung der Herzfrequenz verwendeten wir ein 1-Kanal-Telemetrie-System der Fa. Hellige (Abb. 1). Die Ableitung des EKGs erfolgte über Klebeelektroden. Zur Registrierung wählten wir die Ableitung NEHB. Zur Sicherheit lief während des gesamten Versuchs das telemetrisch übertragene EKG auf einem Kardioskop und konnte beobachtet werden. Bei auftretenden externen oder internen Störungen wurde das EKG zusätzlich auf einem Einfachschreiber registriert und evtl. zur Auswertung mit herangezogen.

Um die Herzfrequenz numerisch erfassen zu können, wurde im Empfängerteil der Telemetrieanlage durch die R-Zacke ein Kurzschlußrelais gesteuert, womit in einem druckenden Impulszähler der Fa. Landis & Gyr der Zählvorgang für die Herzfrequenzmessung gesteuert wurde. Durch einen internen Zeitschalter wurde die Anzahl der Impulse alle 30 Sekunden automatisch so ausgedruckt, daß während des Druckvorganges ankommende Impulse über eine Überlaufdekade mit erfasst und ausgedruckt wurden.

Bei auftretenden Störungen in der Pulsfrequenzregistrierung, die gelegentlich am Ende des Versuches bei hohen Leistungen durch zusätzliche Aktionspotentiale der Brustmuskulatur sowie durch Lockerung der Elektroden infolge von Schweißansammlung hervorgerufen werden konnten, wurde die Pulsfrequenz rechnerisch aus sechs Schlägen des mitgeschriebenen EKGs bestimmt.

1.2.3. Bestimmung des Sauerstoffverbrauches

Die Bestimmung des Sauerstoffverbrauches erfolgte in einem offenen System in Anlehnung an die Douglassack-Methode. In unseren Versuchen atmete die Versuchsperson während der Spiroergometrie durch ein Ventil nach SIEBER und FRANZ, das über einen sehr geringen Atemwiderstand verfügt. Vom Ventil gelangte die Ausatemluft über einen ca. 1 m langen gut beweglichen glatten Haartrocknerschlauch zum Sammelgerät. Das Sammelgerät bestand aus fünf Douglassäcken von je 120 l Fassungsvermögen

und einer besonderen Verteilereinrichtung. Diese Form der Sammlung der Ausatemluft garantierte uns den notwendigen schnellen Wechsel der Douglassäcke.

Über einen Verteilerkopf und Metallrohre von je 50 cm Länge gelangte die Ausatemluft der Versuchspersonen in einen der Douglassäcke. Die Anordnung garantierte weiter durch ein 3-Wege-Ventil, daß die Ausatemluft außerhalb der Sammelperiode nach außen abgeleitet wurde, ohne daß Nasenklemme und Mundstück abgelegt werden mußten. Bei der Sammlung der Ausatemgase wurde die Ausatemluft durch Umschalten am 3-Wege-Ventil in die Douglassäcke geleitet. Bei der gesamten Anlage wurde auf möglichst kurze Wege und geringen Widerstand Wert gelegt; alle gleitenden Teile wurden mit einer speziellen Dichtungsmasse luftdicht abgeschlossen.

Um das Volumen der Ausatemluft zu ermitteln, wurde der Inhalt der Douglassäcke mit einer Pumpe durch eine feuchte Gasuhr der Fa. Elster gepumpt und gemessen. Zur Gasanalyse wurde aus den Douglassäcken nach vorhergehender guter Mischung des Sackinhaltes eine Probe von ca. 200 cm³ in eine Fußballblase gezogen, die sofort daran anschließend auf ihren CO₂- bzw. O₂-Gehalt analysiert wurde. Zur Bestimmung des CO₂-Gehaltes benutzten wir das Gerät Unor 4 der Fa. Maihak, das auf dem Prinzip der Ultrarotabsorption basiert. Die O₂-Analyse wurde mit Hilfe des Oxygen-Analysers O. A. 137 der Fa. Servomex durchgeführt, das auf dem Prinzip des Paramagnetismus basiert. Beide Geräte wurden in regelmäßigen Abständen mit Eichgemischen auf ihre Eichkurve geprüft. Die Eichgemische wurden mit Hilfe von Gasmischpumpen (Fa. Wösthoff) hergestellt und nach dem Scholander-Verfahren überprüft. Der Nullpunkt der Geräte wurde täglich mit reinem Stickstoff kontrolliert, ebenso wurde der Meßpunkt entsprechend dem Sauerstoffgehalt der Zimmerluft täglich nachgeprüft.

Das gewonnene Volumen der Ausatemluft in ATPS wurde mit Hilfe des entsprechenden STPD-Faktors auf STPD-Bedingungen umgerechnet. Die gefundenen O₂- und CO₂-Werte in STPD wurden nach CONSOLAZIO et al. auf "true oxygen" und "true CO₂" umgerechnet.

Der Sauerstoffverbrauch errechnete sich dann aus dem Produkt aus $\dot{V}_{E\text{STPD}}$ und true oxygen. Den respiratorischen Quotienten RQ errechneten wir nach der Formel :

$$R = \frac{\% \text{ CO}_2 \text{ in exp. air} - 0,03}{\text{true oxygen} (\%)}$$

Zur Vereinfachung der Berechnungen wurden die entsprechenden Meß- und Hilfswerte auf der Basis der von CONSOLAZIO et al. angegebenen Nomogramme in ein Programm der IME-Kleinrechenanlage vorgegeben.

1.2.4. Versuchsanordnungen

Während der Vergleichsuntersuchungen wurde bei allen unseren Versuchspersonen im Laufe von zwei Wochen insgesamt viermal in einem Arbeitstag die W_{170} und die maximale O_2 -Aufnahme bestimmt. Hierzu führten wir je einen Doppelversuch bei stufenweise und bei kontinuierlich steigender Leistung durch. Versuche mit stufenweise steigender Leistung wurden im weiteren Verlauf "A-Versuche", Versuche mit kontinuierlich steigender Leistung "B-Versuche" genannt.

Um Trainingseinflüsse oder Motivationsunterschiede auf die Ergebnisse einer der beiden Methoden auszuschalten, begann die Hälfte der Versuchspersonen mit den Versuchen nach Methode A, die andere Hälfte mit den Versuchen nach Methode B. Die Versuchspersonen mit geradzahliger Nummer begannen mit Versuchen A, die Versuchspersonen mit ungeradzahliger Nummer jeweils mit Versuch B. Wir waren bestrebt, die Versuche eines Probanden möglichst zur gleichen Tageszeit vorzunehmen, um tageszeitliche Schwankungen der Leistungsfähigkeit zu berücksichtigen (GRAF; VOIGT et al.).

Nach jedem Versuchstag hielten die Probanden mindestens einen Ruhetag ein. Es wurde jedoch darauf geachtet, daß die Gesamtzeit für alle vier Versuche zwei Wochen nicht überschritt. Durch diese Maßnahme hofften wir, Änderungen im Trainingszustand, wie

sie über längere Zeiträume vorkommen können, aus unseren Ergebnissen fernhalten zu können.

a) Bestimmung der W_{170} bei stufenweise steigender Leistung
(A-Versuche)

Die Versuchspersonen arbeiteten zunächst auf dem Fahrradergometer für drei Minuten bei einer Belastung von 30 mkp/min zum Aufwärmen und Einüben der vom Schrittmacher vorgegebenen Tretgeschwindigkeit sowie zum Ausschalten psychogener Pulsfrequenzüberhöhungen.

Anschließend wurden drei Stufen von jeweils sechs Minuten Dauer ohne Pause zwischen den Belastungsstufen gefahren. Die Belastungen wurden für alle Versuchspersonen einer Altersgruppe gleich gewählt (vgl. Tab. 6). Sie entsprachen in etwa einer Belastung von 1,2 bzw. 3 Watt/kg Körpergewicht. Diese Versuchsanordnung wurde in Anlehnung an die von WAHLUND bzw. BENGTTSSON vorgeschlagene Versuchsanordnung gewählt.

Altersgruppe	1.Stufe mkp/min	2.Stufe mkp/min	3.Stufe mkp/min
I 9-10 J.	180	360	540
II 13-14 J.	240	480	720
III 17-18 J.	420	840	1260
IV 20-25 J.	420	840	1260

Tab. 6 : Belastungsstufen bei stufenweisem Belastungsanstieg
in den verschiedenen Altersgruppen

b) Bestimmung der W_{170} bei kontinuierlich steigender Leistung
(B-Versuche)

Nach einem entsprechenden "warming up" führen die Versuchspersonen von der Ausgangsleistung 30 mkp/min mit einer um 60 mkp/min² kontinuierlich ansteigenden Leistung so lange, bis eine Herzfrequenz von 170 Schlägen/min gerade überschritten wurde.

Die W_{170} errechneten wir nach der Formel von MOCELLIN und RUTENFRANZ (1970) :

$$W_{170} = \frac{170 - \left[\frac{\sum F - (b \cdot \sum L)}{n} \right]}{b} \quad (2)$$

Hierbei ist F die Pulsfrequenz auf verschiedenen Leistungsstufen L (mkp/min) und b der Regressionskoeffizient, der sich bei kontinuierlich steigender Leistung nach folgender Formel berechnen läßt :

$$b = \frac{\sum [(F - \bar{F}) \cdot (L - \bar{L})]}{\sum (L - \bar{L})^2} \quad (3)$$

Bei unseren Untersuchungen zur Bestimmung der Abhängigkeit der W_{170} vom Alter, vom Trainingszustand und von Berufszugehörigkeit änderten wir die Versuchsanordnung dahingehend ab, daß die Versuchspersonen ein drei Minuten dauerndes "warming up" bei einer Belastung von 1 Watt/kg Körpergewicht absolvierten und dann mit einer um 60 mkp/min² kontinuierlich ansteigender Leistung bis zum Erreichen der Herzfrequenz von 170 Schlägen/min fuhren. Dieses Verfahren wurde gewählt, um die bei Erwachsenen sehr lange Versuchsdauer mit den daraus resultierenden Schwierigkeiten (Ermüdung, Schwierigkeiten in der Pulsregistrierung auf Grund starker Schweißabsonderung) auf ein Minimum zu reduzieren. Methodisch war das durchaus möglich, da Werte unter 1 Watt/kg Körpergewicht nach Möglichkeit bei der Berechnung der W_{170} keine Verwendung finden sollen (MOCELLIN und RUTENFRANZ, 1970b; STRÖM).

- c) Bestimmung der Sauerstoffaufnahme in den A- und B-Versuchen auf submaximalen Leistungsstufen und Bestimmung der maximalen Sauerstoffaufnahme

In den A-Versuchen wurde die Ausatemluft jeweils in der sechsten Minute der drei submaximalen Belastungsstufen gesammelt. Dann wurde die Belastung in Gruppe I (9 bis 10-jährige) in jeder weiteren Minute um 60 mkp/min in den Gruppen II - IV (13 bis

25-jährige) um 120 mkp/min² bis zum Maximum erhöht. Um das "levelling off" der Sauerstoffaufnahme gezielt erfassen zu können, wurden bei Annäherung an die maximale O₂-Aufnahme bis zu drei Proben von je 30 sec Dauer in Douglassäcken gesammelt. Weitere Kriterien für das Erreichen der maximalen O₂-Aufnahme waren : periphere Blässe, stoßweise Atmung, allmähliches Nachlassen der Fähigkeit, die Leistung genau einzuhalten und ein "levelling off" der Pulsfrequenz.

In den B-Versuchen wurde die Ausatemluft jeweils dann gesammelt, wenn die Belastung auf nominell gleiche Werte wie in den A-Versuchen angestiegen war. Dies geschah bei Gruppe I in der 3., 6. und 9. Minute, d.h. bei einer Belastung von 180, 360 bzw. 540 mkp/min; in Gruppe II wurden diese Werte erreicht in der 4., 8. und 12. Minute, entsprechend einer Belastung von 240, 480 und 720 mkp/min. In den Gruppen III und IV wurden die entsprechenden Werte in der 7., 14. und 21. Minute bzw. bei 420, 840 und 1260 mkp/min erreicht.

Zur Ermittlung der maximalen Sauerstoffaufnahme in den B-Versuchen ließen wir in Gruppe I die Leistung durchgehend um 60 mkp/min² bis zum Maximum ansteigen. In den Gruppen II bis IV nahm die Belastung bis zu einer Pulsfrequenz von 170/min ebenfalls in jeder Minute um 60 mkp/min zu. Danach steigerten wir den Leistungsanstieg auf 120 mkp/min² und sammelten die Ausatemluft wiederum in bis zu 3 Douglassäcken für die Dauer von jeweils 30 sec, um auch möglichst das "levelling off" der O₂-Aufnahme zu erfassen, bzw. über die Erfassung einer supermaximalen Leistung den entsprechenden Wert der maximalen O₂-Aufnahme festlegen zu können.

d) Bestimmung der Zellmasse

Für die Bestimmung der Zellmasse bedienten wir uns des Prinzips der Kalium-40-Methode. Für unsere Untersuchungen stand uns ein "whole body counter" zur Verfügung, der mit einem 4-C-Scintillator bestückt war. Die näheren Einzelheiten des benutzten Gerätes und die methodischen Einzelheiten wurden 1970 von ROHMAHN und

BURMEISTER veröffentlicht.⁺

Wie von ROMAHN und BURMEISTER im einzelnen beschrieben, wurde jede Versuchsperson an drei aufeinander folgenden Tagen für 100 sec lang in liegender Stellung im body counter dem Meßvorgang ausgesetzt. Im Anschluß an jede Messung wurde wiederum für 100 sec der "back ground" gemessen, um den der Meßwert des Organismus jeweils vermindert wurde. Die Eichung des body counters erfolgte täglich mit einer Standard-Kalium-Menge.

Die Körperzellmasse (CM) in kg wurde aus der Gesamtkaliummenge (K_t) in Gramm nach der von BURMEISTER 1965 angegebenen Formel errechnet :

$$K_t : 3,617 = CM \quad (4)$$

Aus der auf diese Weise errechneten Zellmasse läßt sich die fettfreie Körpermasse (LBM in kg) nach folgender Formel berechnen :

$$LBM = 1,1 \cdot CM + ECF \quad (5)$$

Wobei ECF (in kg) die extracelluläre Flüssigkeit bedeutet, die aus der Körperoberfläche (SA) in qm in Anlehnung an DUBOIS und DUBOIS nach folgender Formel errechnet wurde :

$$ECF = 6,04 \cdot SA \quad (6)$$

Der in Formel 5 vorkommende Faktor 1,1 ergibt sich aus der Tatsache, daß die festen Bestandteile des extracellulären Raumes in einer Größenordnung von etwa 10 % der Zellmasse anzusetzen sind.

Um die weitere Körperzusammensetzung angeben zu können, ist es wünschenswert, Informationen über den Fettanteil des Körpers zu

⁺ Herrn Prof. BURMEISTER bin ich für die liebenswürdige Durchführung der Messungen zu besonderem Dank verpflichtet.

erhalten. Wir errechneten darum das Depotfett (F) in kg aus dem Körpergewicht W und der LBM nach der Formel :

$$F = W - LBM \quad (7)$$

1.3. Angewandte statistische Methoden

Die arithmetischen Mittelwerte errechneten wir nach der Formel :

$$AM = \frac{\sum X}{n} \quad (8)$$

Die Streuung (standard deviation) wurde nach folgender Formel berechnet :

$$SD = \sqrt{\frac{\sum (x^2) - \frac{(\sum x)^2}{n}}{n - 1}} \quad (9)$$

Die Maßkorrelationen wurden nach der Formel :

$$r = \frac{\sum [(x - \bar{x}) \cdot (y - \bar{y})]}{\sqrt{\sum (x - \bar{x})^2 \cdot \sum (y - \bar{y})^2}} \quad (10)$$

berechnet.

Die Methodengenauigkeit d.h. die Standardabweichung eines einzelnen Experimentes σ_x wurde aus Doppelbestimmungen entsprechend der Formel :

$$\sigma_x = \sigma_d \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} \quad (11)$$

ermittelt, wobei σ_d die Streuung der mittleren Differenz zwischen zwei Doppelbestimmungen bedeutet.

2. Ergebnisse

2.1. Methodische Voruntersuchungen

2.1.1. Vergleich der Bestimmung der W_{170} bei stufenweiser Belastung und bei kontinuierlich ansteigender Belastung

Wie MOCELLIN und RUTENFRANZ (1970a) gezeigt haben, findet man die W_{170} bei ihrer Bestimmung mit kontinuierlichem Leistungsanstieg um etwa 70 mkp/min höher als bei stufenweisem Leistungsanstieg. In diesen Versuchen lagen aber zwischen den einzelnen Leistungsstufen bei der Methode mit stufenweisem Leistungsanstieg Pausen von 1 Minute Dauer. In anderen Untersuchungen (z.B. SELIGER et al.) wurde auf solche Pausen jedoch verzichtet. Es blieb darum unklar, ob die von MOCELLIN und RUTENFRANZ (1970a) beobachteten methodischen Unterschiede auf die unterschiedliche Belastungsform oder auf das unterschiedliche Arbeits-Pausenschema zurückzuführen waren.

In unserer Untersuchung sollte darum erklärt werden, ob ein von der Belastungsform abhängender Unterschied auch dann bestehen bleibt, wenn die von BENGTTSSON angegebene Modifikation einer stufenweise erfolgenden Bestimmung der W_{170} eingehalten wird, die heute in verschiedenen Laboratorien angewandt wird. Da andererseits die Bestimmung der W_{170} bei kontinuierlich steigender Belastung gewisse Vorteile bietet und in einer Reihe anderer Laboratorien angewandt wird, sollte in den folgenden Vergleichsuntersuchungen ein Methodenvergleich zwischen den beiden Belastungsarten durchgeführt werden, was nach der von uns beschriebenen Versuchsanordnung möglich war.

Im einzelnen sollten folgende Fragen geklärt werden :

1. Wie unterscheiden sich die Werte der W_{170} nach Methode A (stufenweiser Leistungsanstieg nach BENGTTSSON) und Methode B (kontinuierlicher Leistungsanstieg nach RUTENFRANZ 1964 bzw. in der Modifikation von MOCELLIN und RUTENFRANZ 1970a) ?

2. Wie ist die Reliabilität beider Methoden ?
3. Läßt sich bei einer Versuchsanordnung, in welcher innerhalb von zwei Wochen vier Versuche durchgeführt werden müssen, ein Trainingszuwachs bzw. ein Motivationsverlust durch Änderungen des Wertes der W_{170} nachweisen ?

Um diese Fragen zu beantworten, haben wir zunächst in Tab. 7 die Mittelwerte der W_{170} aus den Bestimmungen nach Methode A (stufenweise) bzw. B (kontinuierlich) sowie die entsprechenden Standardabweichungen für die verschiedenen Altersgruppen aufgeführt. Weiterhin wurde die Differenz zwischen beiden Methoden eingetragen.

Gruppe	W_{170} A mkp/min			W_{170} B mkp/min			A - B mkp/min
	AM	SD	n	AM	SD	n	
I 9-10 J.	496	106	40	588	105	40	92
II 13-14 J.	822	192	38	918	184	38	97
III 17-18 J.	1370	209	40	1445	208	40	75
IV 20-25 J.	1288	243	38	1371	243	38	83

Tab. 7 : Arithmetische Mittelwerte (AM) $\pm$ Streuungen (SD) der bei den verschiedenen Formen des Belastungsanstieges gefundenen W_{170} (mkp/min). A = stufenweiser Belastungsanstieg, B = kontinuierlicher Belastungsanstieg. Die letzte Spalte der Tabelle enthält die Differenz zwischen den beiden Mittelwerten in mkp/min

Wie aus der Tabelle zu ersehen ist, war die W_{170} bei kontinuierlich steigender Belastung in allen Altersgruppen im Mittel höher als bei stufenweise steigender Belastung. Dieser Befund bestätigt also grundsätzlich den von MOCELLIN und RUTENFRANZ an einem kleineren Untersuchungsgut in einer begrenzten Altersgruppe beobachteten Tatbestand.

Weiterhin läßt sich aus der Tabelle ablesen, daß die Differenz

in allen Altersgruppen numerisch annähernd gleich groß war und keine klare Altersabhängigkeit zu ermitteln war. Zwar ist die Differenz in den Altersgruppen zwischen 9 und 14 Jahren etwas größer als in den Altersgruppen zwischen 17 und 25 Jahren, doch beobachteten wir den höchsten Wert der Differenz bei der Altersgruppe der 12 bis 14-jährigen und den niedrigsten bei der Altersgruppe der 17 bis 18-jährigen. Unter Berücksichtigung der methodischen Gegebenheiten bei der Bestimmung der W_{170} liegen diese Unterschiede zweifellos im Bereich der Methodenungenauigkeit; wir halten es darum für gerechtfertigt, aus unseren Versuchen eine methodische Differenz unabhängig vom Lebensalter von ca. 90 mkp/min bzw. 1,5 mkp/sec anzunehmen.

Will man diese beobachteten Unterschiede erklären, so ist zunächst davon auszugehen, daß die W_{170} eine rechnerische Größe ist, deren Wert durch das Verhältnis zwischen Pulsfrequenz und verlangter Leistung bzw. Pulsfrequenz und Sauerstoffaufnahme festgelegt wird. Aus diesem Grunde wurden in Tab. 8 die Mittelwerte der Pulsfrequenz für die vergleichbaren Leistungen in den entsprechenden Altersstufen zusammengestellt. Wie die Tabelle erkennen läßt, unterscheiden sich die gefundenen maximalen Herzfrequenzen in den einzelnen Altersstufen bei den beiden Methoden (A stufenweise, B kontinuierlich) praktisch überhaupt nicht. Diese lagen mit Werten um 194 bis 198 in der Altersgruppe der 9 bis 14-jährigen voll im bekannten Bereich der maximalen Herzfrequenz, die nach zahlreichen Untersuchungen für diese Altersstufe mit 195 ± 7 angegeben wird (ÅSTRAND und RODAHL, ROBINSON). Die beiden älteren Gruppen zeigten etwas niedrigere Werte mit durchschnittlichen Frequenzen von 187 ± 7 bis 9 Schlägen/min. Diese etwas niedriger liegenden Durchschnittswerte erklären sich durch das etwas höhere Lebensalter in Verbindung mit einem etwas höheren Trainingszustand.

Im Gegensatz zur auffallenden Gleichheit der maximalen Herzfrequenzwerte stehen jedoch die ebenso auffallenden Differenzen der Herzfrequenz auf den submaximalen Belastungsstufen. Dabei läßt sich sowohl eine Altersabhängigkeit als auch eine Abhängigkeit von der Größe der verlangten Leistung zwischen den Methoden

Gruppe	Methode		HF 1. Stufe Schläge/min		HF 2. Stufe Schläge/min		HF 3. Stufe Schläge/min		HF max. Schläge/min	
	n		AM	SD	AM	SD	AM	SD	AM	SD
I 9-10 J.	A	40	127	12,0	150	13,8	179	14,7	198	9,3
	B	40	119	9,3	139	10,8	165	12,5	195	8,5
II 13-14 J.	A	38	112	11,0	135	13,1	162	16,8	195	5,9
	B	38	109	8,5	129	11,7	154	15,1	194	6,1
III 17-18 J.	A	40	104	10,6	133	12,8	164	13,8	187	8,9
	B	40	103	10,4	129	11,2	159	11,8	188	8,7
IV 20-25 J.	A	38	106	12,4	138	16,4	169	14,9	187	6,9
	B	38	101	11,1	131	13,1	163	14,0	187	7,4

Tab. 8 : Arithmetische Mittelwerte (AM) $\pm$ Streuungen (SD) der Herzfrequenz (HF) auf submaximalen Belastungsstufen sowie mittlere maximale Herzfrequenz bei verschiedenen Formen des Belastungsanstieges in den verschiedenen Altersgruppen.

A = stufenweiser Belastungsanstieg,

B = kontinuierlicher Belastungsanstieg

erkennen. So ist etwa in der Gruppe der 9 bis 10-jährigen schon auf der ersten, also niedrigsten Belastungsstufe, eine Differenz von 8 Pulsschlägen zwischen beiden Methoden vorhanden, während sich auf dieser Belastungsstufe in den anderen Altersgruppen kaum numerische Unterschiede erkennen lassen. Auf der dritten Belastungsstufe finden wir dagegen in der jüngsten Altersgruppe eine Differenz von 14 Herzschlägen/min, und auch bei den älteren Altersgruppen finden sich hier immerhin klar erkennbare Frequenzunterschiede, wobei die höhere Herzfrequenz immer bei der stufenweise ansteigenden Belastung (Methode A) zu finden war.

Um diesen Befund zu verdeutlichen, haben wir in Abb. 2 die Beziehung zwischen Pulsfrequenz und Leistung für die Methoden A und B vergleichend unter Berücksichtigung der verschiedenen Altersgruppen aufgetragen. Die Abbildung läßt die wachsende Differenz zwischen den Pulsfrequenzwerten bei beiden Methoden mit steigender Leistung und abnehmendem Lebensalter besonders klar erkennen. Aus dieser Abbildung wird somit deutlich, daß trotz der Gleichheit der erreichten maximalen Herzfrequenzwerte in beiden Methoden durch den flacheren Pulsfrequenzanstieg bei kontinuierlich steigender Leistung eine höhere W_{170} rechnerisch und graphisch erreicht werden muß, was den Eindruck einer höheren Leistungsfähigkeit bei Benutzung der Bestimmungsmethode mit kontinuierlich steigender Leistung erwecken kann.

2.1.2. Vergleich der O_2 -Aufnahme bei stufenweise steigender Belastung und bei kontinuierlich steigender Belastung

Um die beobachteten Differenzen zwischen den beiden Methoden zu klären, lag es nahe, die gefundenen Meßwerte nicht nur auf die durch das Ergometer gemessene Leistung zu beziehen, sondern als eigentliche Bezugsgröße für die verlangte Kreislaufanpassung den Sauerstoffverbrauch zu wählen. Auf Grund unserer eingangs beschriebenen Versuchsanordnung war dies leicht möglich. Aus diesem Grunde haben wir in Tab. 9 die Werte für den Sauerstoffverbrauch für die beiden Methoden A und B auf den entsprechenden vergleichbaren Leistungsstufen in den verschiedenen Altersgruppen

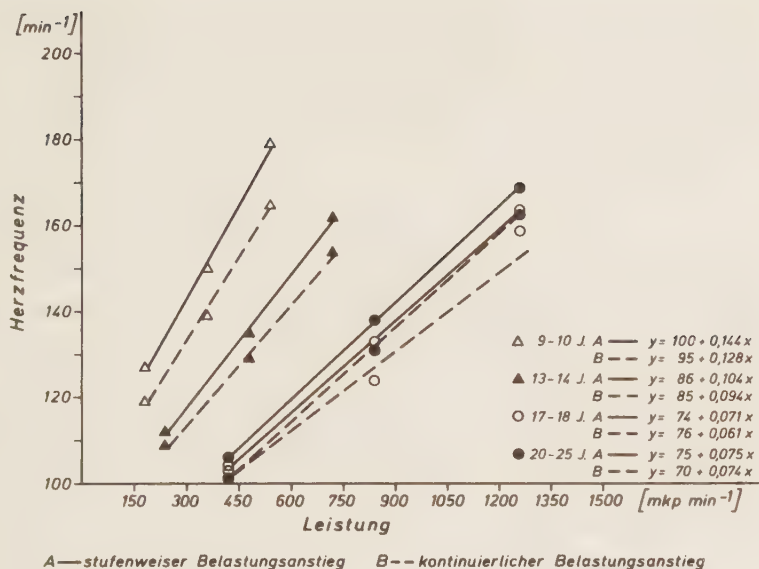


Abb. 2 : Beziehung zwischen Herzfrequenz und Leistung auf submaximalen Belastungsstufen bei verschiedenen Formen des Belastungsanstieges in verschiedenen Altersgruppen

Gruppe	Methode		$\dot{V}O_2$ 1. Stufe ml/min		$\dot{V}O_2$ 1. Stufe ml/min		$\dot{V}O_2$ 1. Stufe ml/min		$\dot{V}O_2$ max. ml/min	
	n		AM	SD	AM	SD	AM	SD	AM	SD
I 9-10 J.	A	20	576	90	905	68	1271	124	1737	213
	B	20	531	72	838	75	1177	81	1750	217
II 13-14 J.	A	19	864	120	1326	139	1804	92	2802	519
	B	19	790	74	1224	102	1672	132	2844	585
III 17-18 J.	A	20	1087	124	1854	174	2772	236	3904	395
	B	20	1092	156	1816	166	2668	218	3957	373
IV 20-25 J.	A	19	1088	163	1854	163	2912	274	3663	436
	B	19	1003	157	1769	109	2735	229	3678	481

Tab. 9 : Arithmetische Mittelwerte (AM) $\pm$ Streuungen (SD) der Sauerstoffaufnahme auf submaximalen Belastungsstufen sowie mittlere maximale Sauerstoffaufnahme bei verschiedenen Formen des Belastungsanstieges in den verschiedenen Altersgruppen.

A = O_2 -Verbrauch bei stufenweisem Belastungsanstieg

B = O_2 -Verbrauch bei kontinuierlichem Belastungsanstieg

einschließlich der Standardabweichungen, aufgeführt. Außerdem wurde in jeder Altersstufe für die beiden Methoden die maximale O_2 -Aufnahme angegeben.

Wie aus der Tabelle zu entnehmen ist, war die maximale O_2 -Aufnahme in den einzelnen Altersstufen für die beiden benutzten Methoden praktisch im Mittel völlig identisch. Außerdem ist zu erkennen, daß die maximale O_2 -Aufnahme mit zunehmendem Lebensalter erwartungsgemäß deutlich zunahm. Bemerkenswert ist dabei besonders, daß die Gruppe der 17 bis 18-jährigen mit Werten um 3,9 l O_2 -Aufnahme/min Werte erreicht, die diese Gruppe als besonders leistungsfähig ausweist.

Vergleicht man dagegen den Sauerstoffverbrauch auf vergleichbaren submaximalen Leistungsstufen in identischen Altersgruppen, so fällt auf, daß der Sauerstoffverbrauch bei Methode A (stufenweise Belastung) fast ausnahmslos höher gefunden wurde. Diese Differenz zu Gunsten eines höheren Sauerstoffverbrauches bei Methode A wird wiederum mit zunehmender Höhe der Belastung größer, eine systematische Altersabhängigkeit für diese Methodendifferenz ließ sich jedoch nicht finden.

Um den in Tab. 9 beschriebenen Befund zu verdeutlichen, wurde der O_2 -Verbrauch in Abhängigkeit von der Leistung in den verschiedenen Altersgruppen in Abb. 3 aufgetragen. Hier erkennt man deutlich, daß die Differenzen im O_2 -Verbrauch in den jeweiligen Altersstufen gering waren, mit zunehmender Leistung aber größer wurden.

Betrachtet man die in Tab. 8 bzw. 9 beschriebenen Befunde im Zusammenhang, dann liegt die Vermutung nahe, daß die methodisch bedingten Unterschiede in der Größe der jeweils bestimmten W_{170} sich wesentlich vermindern lassen müßten, wenn man als Bezug für die verlangte Leistung nicht die im Ergometer gemessene Leistung in mkp/min sondern die gemessenen Sauerstoffverbrauchswerte einsetzen würde. Bekanntlich ist ein solcher Ersatz der gemessenen Leistung durch Sauerstoffverbrauchswerte immer dann zweckmäßig, wenn der Verdacht besteht, daß entweder durch die gewählte Ergo-

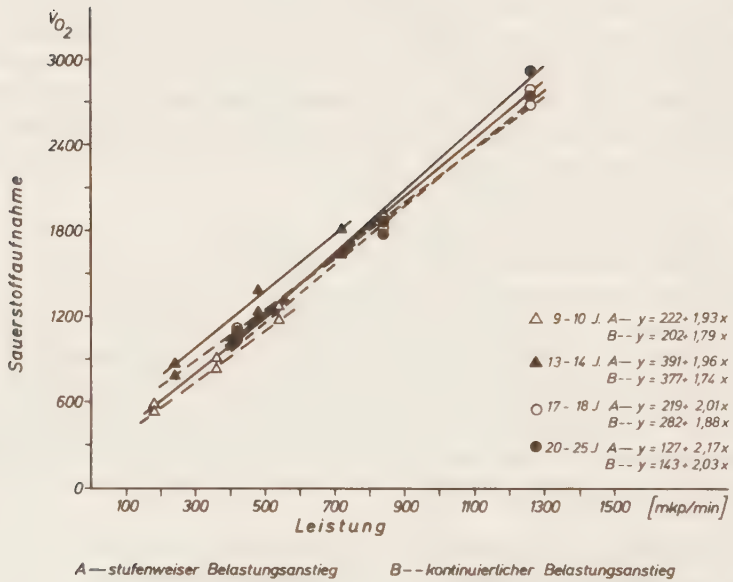


Abb. 3 : Beziehung zwischen O_2 -Aufnahme und Leistung auf submaximalen Belastungsstufen bei verschiedenen Formen des Belastungsanstieges in verschiedenen Altersgruppen

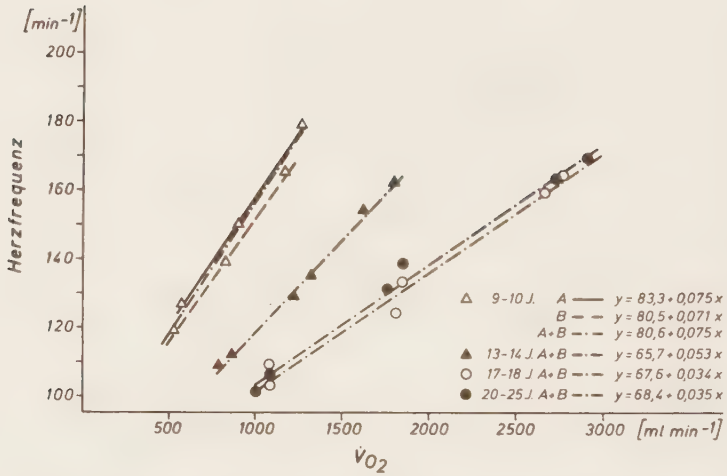
meteranordnung Unterschiede im Wirkungsgrad zu vermuten sind, oder wenn man nicht sicherstellen kann, daß durch gleich lange Arbeitszeiten auf vergleichbaren Stufen gleiche relative steady-state-Situationen geschaffen werden können.

Ausgehend von der zuletzt geäußerten Vermutung haben wir darum in Abb. 4 die Herzfrequenz bei kontinuierlich bzw. stufenweise steigender Leistung als Funktion des Sauerstoffverbrauches für die verschiedenen Altersstufen aufgetragen. Wie die Abb. 4 erkennen läßt, gelingt es bei dieser Art der Betrachtungsweise, die vorher beschriebenen Unterschiede im Verhalten der Herzfrequenz in den Altersgruppen der 13 bis 25-jährigen praktisch völlig zu eliminieren. Wie die Abb. 4 erkennen läßt, liegen nämlich die gefundenen Herzfrequenzwerte bei den verschiedenen Methoden praktisch in der gleichen linearen Regression zwischen O_2 -Verbrauch und Herzfrequenz.

Eine gewisse Ausnahme von dieser Grundtendenz läßt sich nur für die Altersgruppe der 9 bis 10-jährigen beschreiben. Hier verbleibt nämlich bei stufenweiser Belastung bei vergleichbaren Sauerstoffverbrauchswerten eine systematische Differenz von 5 Herzschlägen/min. Dieser Befund könnte die Zusatzannahme notwendig machen, daß entweder bei den jungen Kindern ein Wirkungsgradunterschied bei den unterschiedlichen Methoden vorhanden wäre, oder aber die Vermutung nahelegen, daß jüngere Kinder eine relativ längere Zeit für das Erreichen relativer steady state-Werte bei kontinuierlich steigender Leistung benötigen würden. Dies könnte z.B. nahelegen, die Anstiegsgeschwindigkeit je Zeiteinheit bei jüngeren Kindern bei kontinuierlich steigender Leistung niedriger anzusetzen.

2.1.3. Testtheoretische Prüfungen

Im Sinne der vor allem in jüngster Zeit von BLOHMKE et al. erhobenen Forderungen nach einer Anwendung testtheoretischer Überlegung auf Methoden der Leistungsprüfung, haben wir das von uns erhobene Untersuchungsgut auch in dieser Richtung ausgewertet. Die gewählte Versuchsanordnung erlaubt dabei vor allem Aussagen



A—stufenweiser Belastungsanstieg B—kontinuierlicher Belastungsanstieg
A+B—beide Formen des Belastungsanstieges zusammengefasst

Abb. 4 : Beziehung zwischen Herzfrequenz und O_2 -Aufnahme auf submaximalen Belastungsstufen bei verschiedenen Formen des Belastungsanstieges in verschiedenen Altersgruppen

zur Test-Retest-Reliabilität und zum Einfluß der Sequenz von Versuchen auf das Ergebnis einer Beurteilung der körperlichen Leistungsfähigkeit.

a) Test-Retest-Reliabilität :

Bekanntlich versteht man unter der Reliabilität den Grad der Exaktheit- mit der ein Verfahren das mißt, was es mißt (LIE-NERT). Bei ergometrischen Versuchen erscheint es gerechtfertigt, zur Reliabilitätsanalyse das Verfahren der Test-Retest-Reliabilität zu verwenden.

Aus diesem Grunde haben wir in Tab. 10 bzw. 11 für die W_{170} bzw. die maximale O_2 -Aufnahme getrennt nach stufenweisem Anstieg (A) und kontinuierlichem Anstieg (B) der Leistung die Mittelwerte für jeweils die erste bzw. zweite Leistungsprüfung der einzelnen Verfahren aufgeführt. Durch die gewählte Versuchsanordnung war dabei sichergestellt, daß die ersten bzw. zweiten Leistungsprüfungen sich in gleicher Häufigkeit auf die A- bzw. B-Versuche verteilen.

Wie die Tab. 10 erkennen läßt, war die W_{170} im Mittel im Retest numerisch jeweils etwas größer als während der ersten Leistungsprüfung, doch lagen die beobachteten Unterschiede alle im Bereich der Methodenungenauigkeit. Prüft man die Test-Retest-Reliabilität mit Hilfe von Maßkorrelationen, dann finden sich in 7 der 8 Korrelationen Werte von 0,9 oder größer; nur bei der Gruppe der 9- bis 10-jährigen lag der Reliabilitätskoeffizient mit 0,69 bei stufenweisem Leistungsanstieg deutlich niedriger, was ein Hinweis auf relativ größere Schwierigkeiten geben dürfte, die kleine Kinder mit dem Verfahren des stufenweisen Leistungsanstieges haben.

Bei der Prüfung der Test-Retest-Reliabilität für die maximale O_2 -Aufnahme (Tab. 11) ergeben sich etwas andere Verhältnisse. Hier fällt zunächst auf, daß die Mittelwerte für den Retest nicht durchgängig höher lagen als bei der ersten Versuchsdurchführung, sondern dieses Verhältnis variierte. Darüber hinaus ist

Gruppe	Methode	W ₁₇₀ Test mkp/min			W ₁₇₀ Retest mkp/min			Korr. r
		AM	SD	n	AM	SD	n	
I 9-10 J.	A	489	105	20	503	110	20	0,69
	B	582	111	20	595	101	20	0,89
II 13-14 J.	A	819	193	19	825	195	19	0,91
	B	919	189	19	916	184	19	0,94
III 17-18 J.	A	1356	199	20	1385	222	20	0,93
	B	1432	224	20	1457	195	20	0,92
IV 20-25 J.	A	1297	264	19	1287	227	19	0,85
	B	1346	240	19	1395	250	19	0,90

Tab. 10 : Test-Retest-Reliabilität der W₁₇₀ (mkp/min) bei verschiedenen Formen des Belastungsanstieges

A = stufenweiser Belastungsanstieg

B = kontinuierlicher Belastungsanstieg

Die Tabelle enthält die arithmetischen Mittelwerte (AM) $\pm$ Streuungen (SD) der W₁₇₀ im Test und Retest sowie den Korrelationskoeffizienten zwischen beiden Werten

Gruppe	Methode	$\dot{V}O_2$ max. Test ml/min			$\dot{V}O_2$ max. Retest ml/min			Korr. r
		AM	SD	n	AM	SD	n	
I 9-10 J.	A	1720	199	20	1754	229	20	0,70
	B	1755	270	20	1744	155	20	0,68
II 13-14 J.	A	2811	583	19	2794	615	19	0,86
	B	2851	592	19	2838	594	19	0,92
III 17-18 J.	A	3919	395	20	3890	404	20	0,88
	B	3921	366	20	3993	386	20	0,77
IV 20-25 J.	A	3647	446	19	3678	436	19	0,89
	B	3636	497	19	3720	475	19	0,82

Tab. 11 : Test-Retest-Reliabilität der maximalen Sauerstoffaufnahme bei verschiedenen Formen des Belastungsanstieges

A = stufenweiser Belastungsanstieg

B = kontinuierlicher Belastungsanstieg

Die Tabelle enthält die arithmetischen Mittelwerte (AM) $\pm$ Streuungen (SD) der maximalen Sauerstoffaufnahme in Test und Retest sowie den Korrelationskoeffizienten zwischen beiden Werten

aber klar zu erkennen, daß die Mittelwerte für Test bzw. Retest in den verschiedenen Altersgruppen und für die beiden Methoden des Leistungsanstieges jeweils sicher innerhalb der Methodenungenauigkeit lagen.

Berechnet man die Reliabilität quantitativ über den Reliabilitätskoeffizienten, so finden sich in den meisten Altersgruppen Werte von nahe 0,8 und darüber; jedoch fand sich nur in einem Fall ein Wert von $> 0,9$, während für zwei Vergleichsgruppen nur Werte von ca. 0,7 gefunden wurden.

Diese Ergebnisse lassen sich dahin deuten, daß die Test-Retest-Reliabilität für beide Methoden relativ groß ist, die W_{170} aber in unserer Untersuchung eine höhere Reliabilität aufwies als die maximale O_2 -Aufnahme. Die W_{170} -Werte genügten dabei in der überwiegenden Mehrzahl dem von LIENERT verlangten Grenzwert von ungefähr 0,9, während bei der maximalen O_2 -Aufnahme dieser Wert nur in einer Altersgruppe erreicht wurde. Dies wird verständlich, wenn man bedenkt, daß neben möglichen Änderungen der individuellen Leistungsfähigkeit bei der Bestimmung der maximalen O_2 -Aufnahme in wesentlich größerem Umfang methodische Störungen mit eingeht können als bei der Bestimmung der W_{170} .

b) Abhängigkeit der Leistungsfähigkeit bei Reihenversuchen von der Sequenz :

Da in unserer Versuchsserie innerhalb einer Zeit von zwei Wochen vier Versuche bis zu maximalen Leistungen durchgeführt wurden, war zu klären, ob Trainings- oder Motivationseinflüsse nachzuweisen waren. Zur Prüfung dieser Frage wurden in Tab. 12 bzw. 13 die Ergebnisse der A- (stufenweiser Anstieg) und B- (kontinuierlicher Anstieg) Versuche für die einzelnen Altersgruppen entsprechend der Reihenfolge der Durchführung so zusammengefaßt, daß jeweils die Mittelwerte für die ersten und zweiten bzw. dritten und vierten Versuche errechnet wurden. Da Versuche mit kontinuierlich steigender bzw. stufenweise steigender Leistung nach unserer Versuchsanordnung auf die einzelnen Versuchsgruppen gleichmäßig verteilt waren, war ein solches Vor-

Alters- gruppe	W ₁₇₀ Test 1 + 2 mkp/min			W ₁₇₀ Test 3 + 4 mkp/min			Korr. r
	AM	SD	n	AM	SD	n	
I 9-10 J.	536	117	40	549	114	40	0,82
II 13-14 J.	869	195	38	871	193	38	0,93
III 17-18 J.	1394	213	40	1421	209	40	0,92
IV 20-25 J.	1322	250	38	1337	243	38	0,86

Tab. 12 : Auswirkung der Sequenz von Testwiederholungen auf die W₁₇₀. Die Tabelle enthält die arithmetischen Mittelwerte (AM) $\pm$ Streuungen (SD) der W₁₇₀ sowie den Korrelationskoeffizienten zwischen beiden Werten in den verschiedenen Altersgruppen

Alters- gruppe	$\dot{V}O_2$ max. Test 1+2 ml/min			$\dot{V}O_2$ max. Test 3+4 ml/min			Korr. r
	AM	SD	n	AM	SD	n	
I 9-10 J.	1738	235	40	1749	193	40	0,65
II 13-14 J.	2831	580	38	2815	596	38	0,89
III 17-18 J.	3920	376	40	3941	393	40	0,82
IV 20-25 J.	3641	466	38	3699	450	38	0,85

Tab. 13 : Auswirkung der Sequenz von Testwiederholungen auf die maximale Sauerstoffaufnahme. Die Tabelle enthält die arithmetischen Mittelwerte (AM) $\pm$ Streuungen (SD) der maximalen Sauerstoffaufnahme sowie den Korrelationskoeffizienten zwischen beiden Werten in den verschiedenen Altersgruppen

gehen trotz des systematischen Unterschiedes zwischen den A- und B-Versuchen zulässig.

Wie die Tab. 12 erkennen läßt, ergaben sich bei dieser Betrachtungsweise bei der W_{170} im Mittel praktisch keine Unterschiede zwischen den ersten beiden und den letzten beiden Versuchen bei gleichbleibenden Streuungen. Prüfte man den Zusammenhang zwischen beiden Reihen mit Hilfe von Maßkorrelationen, dann fanden sich in der Gruppe der 13- bis 18-jährigen Werte von $r > 0,9$, bei den 20- bis 25-jährigen ein Wert von 0,86 und nur bei den 9- bis 10-jährigen ein Wert von 0,82.

Bei der Betrachtung der maximalen O_2 -Aufnahme ergeben sich ähnliche Verhältnisse (Tab. 13). Auch hier finden sich zwischen den beiden ersten und den beiden letzten Versuchen in allen Altersgruppen im Mittel nur minimale und innerhalb der Methodenungenauigkeit liegende Unterschiede. Prüfte man die Übereinstimmung der Ergebnisse aus den ersten beiden und den letzten beiden Versuchen allerdings über die Maßkorrelation, dann fanden sich hier in allen Altersgruppen mit Werten von 0,82 bis 0,89 niedrigere Koeffizienten als bei den vergleichbaren Gruppen für die W_{170} ; in der Gruppe der 9- bis 10-jährigen wurde sogar ein Wert von nur 0,65 erreicht.

Wir möchten aus diesen Ergebnissen ableiten, daß im Laufe der Versuchsserie sich deutliche Trainingswirkungen nicht manifestierten und daß auch keine generellen Motivationsverluste durch die Sequenz der Versuche deutlich wurden. Lediglich bei der Bestimmung der maximalen O_2 -Aufnahme ließen sich innerhalb der Gruppe der 9- bis 10-jährigen geringere Stabilitäten der Ergebnisse vermuten. Sie erklären sich unserer Meinung nach aus der Schwierigkeit, bei kleinen Kindern mit vergleichbarer Exaktheit den Punkt der maximalen O_2 -Aufnahme festzulegen. Spezielle seriale Einflüsse traten somit bei unseren Versuchen insgesamt nicht auf.

2.1.4. Praktische Konsequenzen aus den Vergleichsuntersuchungen

In den Vergleichsuntersuchungen ließ sich somit zeigen, daß in Übereinstimmung mit LINDEMANN die Reliabilität für die W_{170} -Bestimmung größer ist als für die Bestimmung der maximalen O_2 -Aufnahme. Obschon der theoretische Aussagewert der W_{170} bekanntlich geringer ist als der der maximalen O_2 -Aufnahme, läßt sich daraus eine gewisse Prävalenz der W_{170} für die Praxis der Leistungsbeurteilung ableiten. Diese Feststellung gilt nach unseren Versuchen insbesondere für jüngere Kinder.

Darüber hinaus konnten unsere methodischen Vorstudien zeigen, daß ein systematischer Unterschied zwischen dem stufenweisen und dem kontinuierlichen Leistungsanstieg im Hinblick auf die Bestimmung der W_{170} besteht. Dieser systematische Unterschied erklärt sich aus der Tatsache, daß beim kontinuierlichen Leistungsanstieg auf vergleichbaren Leistungsstufen ein relativ geringerer O_2 -Verbrauch als bei stufenweisem Leistungsanstieg zu beobachten ist.

Diese systematischen Unterschiede der W_{170} -Werte lassen sich aber weitgehend eliminieren, wenn man die gemessenen Herzfrequenzwerte nicht mehr auf gleiche Leistungen sondern auf den jeweils gemessenen O_2 -Verbrauch bezieht.

Da sich andererseits besonders aus den Reliabilitätsprüfungen eine Prävalenz des kontinuierlichen Leistungsanstieges für die Bestimmung der W_{170} vornehmlich bei jüngeren Altersgruppen ableiten läßt, möchten wir auf Grund unserer Versuche und in Übereinstimmung mit MOCELLIN et al. für die praktische Leistungsbeurteilung empfehlen, dem kontinuierlichen Leistungsanstieg bei der Bestimmung der W_{170} den Vorteil zu geben, gleichzeitig aber die wegen des relativ zu niedrigen O_2 -Verbrauches systematisch zu hoch ermittelten W_{170} -Werte um den konstanten Wert von 90 mkp/min zu vermindern. In unseren im Folgenden beschriebenen Versuchen haben wir uns in jedem einzelnen Fall darum dieser Methodik bedient.

2.2. Bezugsgrößen der körperlichen Leistungsfähigkeit

Die Beurteilung der körperlichen Leistungsfähigkeit hängt neben dem gewählten ergometrischen Verfahren ganz wesentlich von einer geeigneten Bezugsgröße ab. Es ist darum verständlich, daß in der Literatur recht verschiedene Bezugsgrößen vorgeschlagen worden sind. Diese sind zum Teil sehr leicht (z.B. Körpergewicht), zum Teil nur mit recht großem Aufwand zu bestimmen (z.B. Gesamthämoglobin, röntgenologisches Herzvolumen, Zellmasse).

Wir haben in unseren methodischen Voruntersuchungen darum den Aussagewert von leicht meßbaren Größen, wie dem Körpergewicht und der Körpergröße, mit einer Bezugsgröße verglichen, die technisch relativ aufwendig zu bestimmen ist. Als relativ aufwendige, aber aus theoretischen Gründen sehr aussagekräftig erscheinende Größe wählten wir in Anlehnung an die Überlegungen von BURMEISTER (1970) die Bestimmung der Zellmasse.

Im Rahmen dieser Voruntersuchungen haben wir darum bei 36 Jungen und 27 Mädchen das Körpergewicht, die Körpergröße, das Gesamtkalium (K_t), die Zellmasse (CM), sowie das Körperfett (F) gemessen bzw. errechnet und diese Größen in Beziehung zur W_{170} gesetzt (Tab. 14 und 15). Wie aus den Tabellen zu ersehen ist, waren die Jungen mit 148,6 cm im Mittel etwa ebenso groß wie die Mädchen (149,4 cm). Der Mittelwert des Körpergewichtes lag bei den Jungen (40,6 kg) jedoch um 3,5 kg niedriger als bei den Mädchen (44,1 kg). Trotz dieser Gewichtsdivergenz zu Gunsten der Mädchen lag jedoch der Gesamtkaliumgehalt der Jungen, wie die Tabellen 14 und 15 erkennen lassen, mit $K_t = 69,28$ g um 6,93 g über dem der Mädchen ($K_t = 62,35$ g). Dieser Unterschied in bezug auf das Gesamtkalium ist nach Prüfung mit dem E-Test mit einer Zufallswahrscheinlichkeit von $p = > 0,01$ statistisch signifikant.

Weiter läßt sich aus der Tabelle entnehmen, daß die Mädchen im Mittel mit 17,0 kg eine deutlich größere Fettmasse aufwiesen als die Jungen (11,7 kg). Dabei ist zu beachten, daß bei den Mädchen

Vp Nr.	Körper- gewicht (kg)	Körper- länge (cm)	Kalium (g)	Zell- masse (kg)	Körper- fett (kg)	W ₁₇₀ mkp/min
1	72,3	160,7	74,61	20,6	39,0	665
2	50,3	155,6	59,50	16,5	23,3	475
3	56,3	162,0	84,78	23,4	20,9	701
4	33,2	141,9	54,91	15,2	9,5	543
5	39,0	144,6	56,57	15,6	14,2	441
6	46,5	152,6	78,54	21,7	14,1	663
7	53,8	157,7	77,05	21,3	21,1	671
8	40,0	156,0	54,17	15,0	15,4	548
9	44,8	165,6	58,90	16,3	18,0	461
10	63,2	166,8	83,31	23,0	27,5	524
11	38,6	143,8	57,10	15,8	13,7	528
12	57,3	154,6	68,32	18,9	27,2	614
13	37,4	133,5	48,47	13,4	15,6	330
14	43,5	142,6	52,38	14,5	19,7	548
15	47,5	160,2	73,52	20,3	16,3	692
16	53,0	157,6	81,65	22,6	19,0	677
17	39,8	148,5	58,31	16,1	14,3	473
18	32,6	136,1	43,16	11,9	12,8	423
19	56,8	160,3	71,92	19,9	25,3	609
20	54,2	164,8	78,75	21,8	20,7	708
21	31,9	134,6	53,50	14,8	9,0	524
22	31,4	145,2	54,21	15,0	8,0	276
23	26,4	128,2	43,11	11,9	7,4	273
24	23,9	125,2	37,27	10,3	7,0	292
25	52,4	158,8	81,24	22,5	18,5	476
26	31,0	135,1	46,44	12,8	10,3	350
27	33,0	140,8	51,77	14,3	10,3	393
AM :	44,1	149,4	62,35	17,2	17,0	514

Tab. 14 : Körpergröße, Körperlänge, Gesamtkalium, Körperfett und W₁₇₀ der zur Bestimmung von Bezugsgrößen der körperlichen Leistungsfähigkeit untersuchten Mädchen (aus BURMEISTER et al. 1972)

Vp Nr.	Körper- gewicht (kg)	Körper- länge (cm)	Kalium (g)	Zell- masse (kg)	Körper- fett (kg)	W ₁₇₀ mkp/min
28	60,7	167,2	114,89	31,8	15,6	1072
29	48,0	158,8	88,37	24,4	12,3	868
30	45,6	152,0	83,69	23,1	11,8	702
31	51,3	165,0	99,67	27,4	11,8	854
32	42,2	155,5	67,58	18,7	13,4	759
33	30,0	137,7	57,73	16,0	5,9	530
34	37,6	147,0	65,41	18,1	10,2	655
35	52,6	165,4	100,79	27,9	12,5	1008
36	66,6	175,7	126,57	35,0	17,1	1189
37	45,5	158,8	78,98	21,8	12,8	904
38	37,6	143,9	54,21	15,0	13,7	477
39	48,6	154,5	83,23	23,0	14,6	774
40	37,0	145,9	61,48	17,0	10,8	622
41	34,7	143,1	54,99	15,2	10,8	517
42	56,1	165,0	109,33	30,2	13,1	974
43	50,5	164,2	89,93	24,9	13,9	712
44	48,8	162,0	75,73	20,9	16,7	660
45	39,1	150,9	65,24	18,0	11,4	576
46	34,2	149,0	62,46	17,3	7,9	617
47	39,5	149,4	71,10	19,7	10,1	528
48	28,7	130,4	49,64	13,7	7,4	446
49	23,9	125,8	42,64	11,8	5,4	398
50	38,7	144,3	63,05	17,4	12,0	616
51	44,6	160,2	79,10	21,9	11,9	779
52	40,9	141,4	53,16	14,7	17,1	625
53	37,5	148,1	56,17	15,5	12,8	535
54	37,0	150,1	60,68	16,8	10,9	778
55	33,2	133,1	57,62	15,9	9,0	499
56	30,6	142,6	55,24	15,3	7,0	698
57	44,5	148,9	57,65	15,9	18,8	435
58	47,5	156,8	73,70	20,4	16,2	765
59	41,6	150,2	70,71	19,6	12,1	735
60	28,1	134,6	48,47	13,4	7,1	519
61	39,8	137,8	59,41	16,4	14,4	456
62	22,6	123,2	36,18	10,0	6,2	385
63	38,5	141,2	53,90	14,9	14,7	653
64	28,0	135,4	50,23	13,9	6,4	529
65	31,0	131,8	54,34	15,0	8,0	530
AM :	40,6	148,6	69,28	19,2	11,7	668

Tab. 15 : Körpergröße, Körperlänge, Gesamtkalium, Körperfett und W₁₇₀ der zur Bestimmung von Bezugsgrößen der körperlichen Leistungsfähigkeit untersuchten Jungen (aus BURMEISTER et al. 1972)

etwa 5 Kinder mit Fettanteilen zwischen 42 und 54 % deutlich adipös waren, während sich bei den Jungen nur 2 Kinder mit Fettanteilen von über 40 % befanden.

Diese geschlechtsspezifische Differenz in der Körperzusammensetzung wird in Abb. 5 verdeutlicht. Danach sind also der höhere prozentuale Fettgehalt der Mädchen (38,6 %) gegenüber den Jungen mit 28,6 % sowie die geringere Zellmasse der Mädchen charakteristisch.

Hinsichtlich der W_{170} ließ sich in diesem speziellen und besonders intensiv untersuchten Untersuchungsgut feststellen, daß die Mädchen mit einem Wert von 514 mkp/min einen signifikanten niedrigeren Wert aufwiesen als die Jungen (668 mkp/min). Die gefundene Differenz lag mit einem Wert von $p = < 0,01$ ebenfalls außerhalb der Zufallswahrscheinlichkeit.

Bezieht man die gefundenen W_{170} -Werte auf die verschiedenen Bezugswerte, so ergeben sich charakteristische Unterschiede. In Abb. 6 haben wir zunächst die Beziehung zwischen W_{170} und Körpergewicht dargestellt. Diese Größe erscheint zunächst besonders sinnvoll, da die körperliche Leistungsfähigkeit ja zunächst zur Bewegung des eigenen Körpergewichtes eingesetzt werden muß. Betrachtet man in Abb. 6 die Verteilung der Werte, so läßt sich zeigen, daß sich deutlich unterschiedliche lineare Regressionen für Jungen und Mädchen errechnen lassen. Dabei läßt die Abb. 6 erkennen, daß bei den Mädchen mit zunehmendem Körpergewicht die W_{170} nur langsamer zunimmt als bei den Jungen.

Ein ähnliches Verhalten findet sich für die Beziehung zwischen W_{170} und Körperlänge. Allerdings läßt die Abb. 7 erkennen, daß der Unterschied in der Steilheit der Regression zwischen Jungen und Mädchen bei dieser Art der Betrachtung in unserem Untersuchungsgut geringer war als bei Bezug auf das Körpergewicht.

Bezieht man schließlich die W_{170} auf die gemessenen Kaliumwerte (Abb. 8), dann läßt sich zeigen, daß nur noch sehr geringe Differenzen in den Regressionen zwischen den Jungen und Mädchen bestanden.

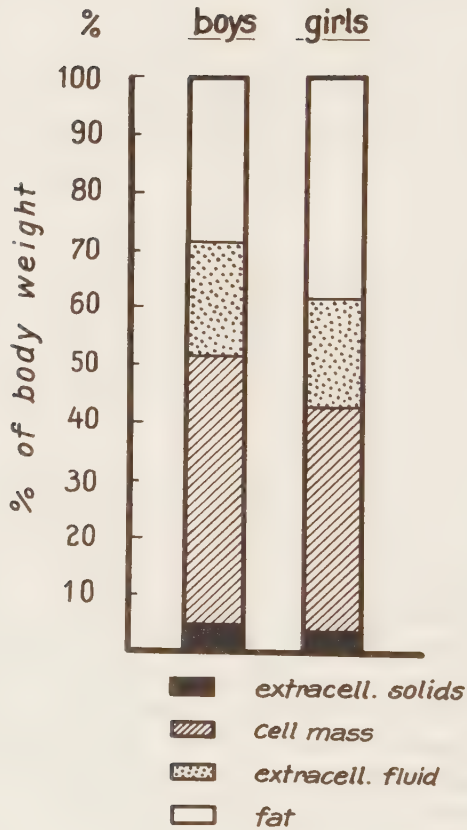


Abb. 5 : Körperzusammensetzung der zur Bestimmung von Bezugsgrößen der körperlichen Leistungsfähigkeit untersuchten Jungen und Mädchen (aus BURMEISTER et al. 1972)

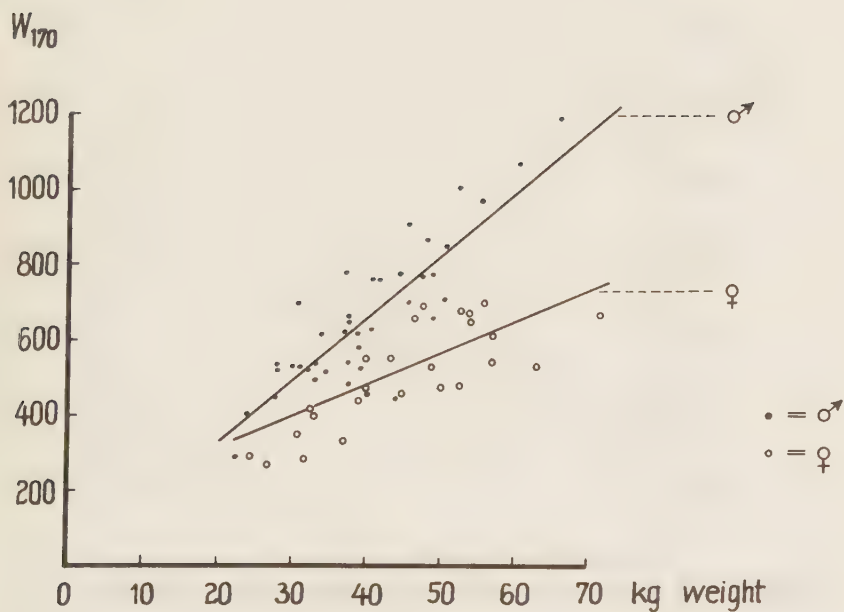


Abb. 6 : Beziehung zwischen W_{170} und Körpergewicht
(aus BURMEISTER et al. 1972)

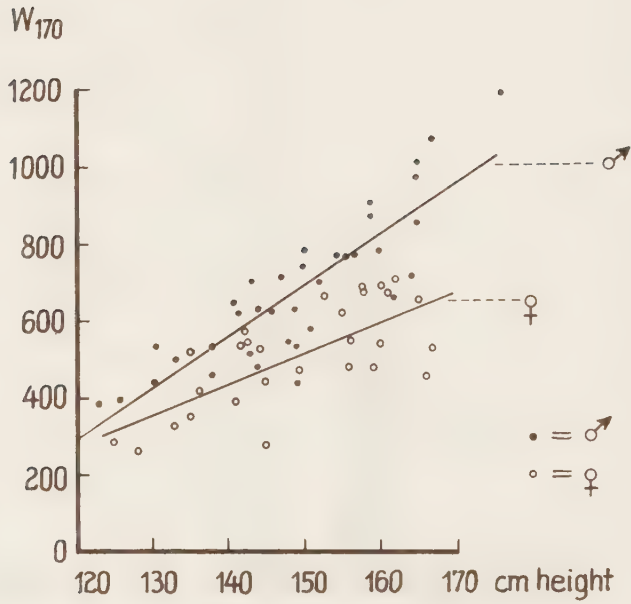


Abb. 7 : Beziehung zwischen W_{170} und Körpergröße
(aus BURMEISTER et al. 1972)

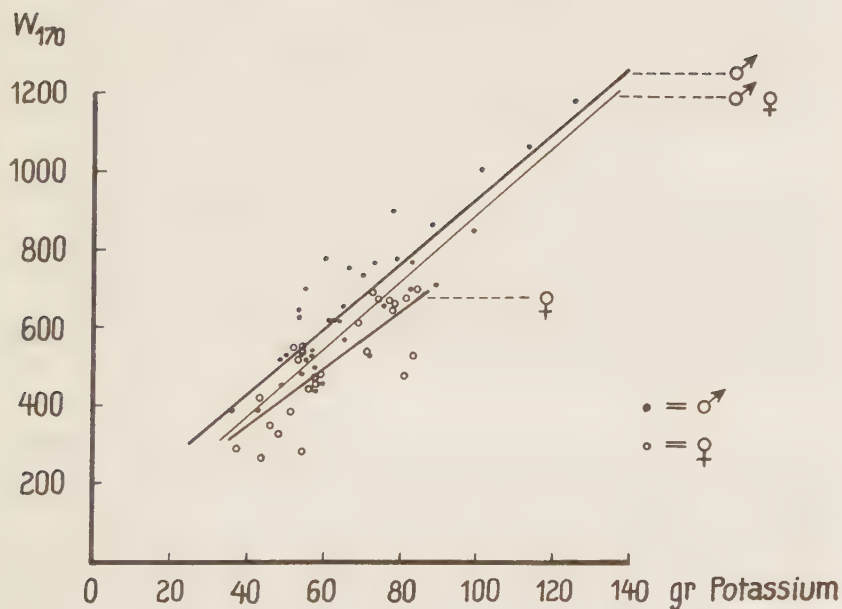


Abb. 8 : Beziehung zwischen W_{170} und Körperkalium
(aus BURMEISTER et al. 1972)

Errechnet man schließlich aus der Kaliummenge entsprechend der von BURMEISTER 1965 angegebenen Formel die Zellmasse und unterteilt in dieser Art der Darstellung nicht mehr nach Jungen und Mädchen, sondern nach dem Prozentsatz der Zellmasse am Gesamtgewicht, dann läßt sich eine beinahe ideale lineare Regression zwischen der W_{170} und der Zellmasse nachweisen, wobei evident ist, daß Personen mit niedriger Zellmasse gleichzeitig eine niedrige W_{170} aufweisen (Abb. 9).

Um diesen Befund weiter zu verdeutlichen, haben wir in Tab. 16 für Jungen und Mädchen getrennt jeweils die Regressionsgleichungen für die Beziehung zwischen W_{170} einerseits sowie Gesamtkalium, Körpergewicht und Körperlänge andererseits aufgeführt sowie die Korrelationskoeffizienten für die entsprechenden Beziehungen errechnet. Die gleichen Angaben wurden auch für das Gesamtkollektiv ermittelt.

Wie die Tab. 16 erkennen läßt, wurden dabei die höchsten Korrelationskoeffizienten jeweils für die Beziehung zwischen W_{170} und dem Gesamtkalium errechnet. Weiterhin fällt auf, daß die Korrelationskoeffizienten bei den Jungen jeweils größer waren als bei den Mädchen. Weiterhin ist aus Tab. 16 abzulesen, daß die Korrelationen für Körperlänge und Körpergewicht jeweils in absteigender Reihenfolge an die Korrelation zur Zellmasse anzuschließen sind.

Insgesamt fällt jedoch auf, daß die Korrelationsunterschiede zwischen den untersuchten Bezugsgrößen nicht so wesentlich sind, daß sich die aufwendige Bestimmung der Zellmasse für praktische Zwecke rechtfertigen ließe, selbst wenn man bedenkt, daß die Voraussagbarkeit der W_{170} aus der Gesamtkaliummenge bei den Jungen mit einer Wahrscheinlichkeit von 81 % möglich ist, während sie nach unseren Untersuchungen aus dem Körpergewicht nur mit einer Wahrscheinlichkeit von 70 % möglich ist.

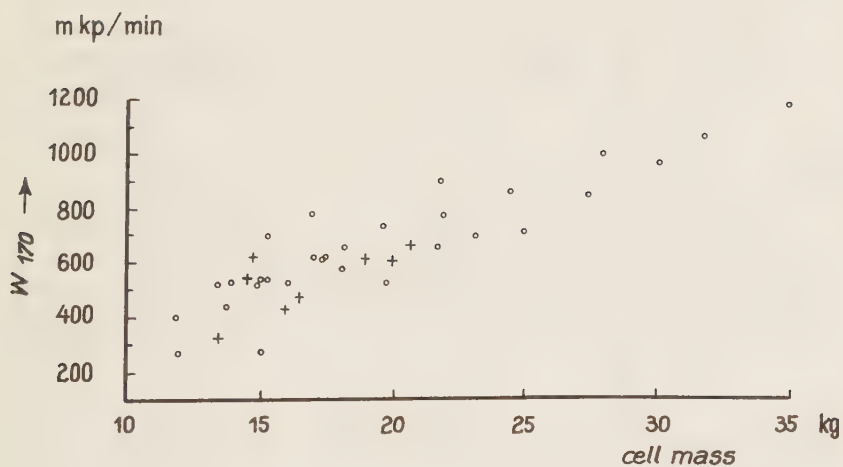


Abb. 9 : Beziehung zwischen der W_{170} und der Zellmasse
(o Zellmasse > 45 %, x Zellmasse < 36 %)
(aus BURMEISTER et al. 1972)

	n	Regressionsgleichungen	Korrelations- koeffizient r
Jungen	38	$8,47K_t + 81$ $W_{170} = 19,3 W + 3,88$ $13,4 H - 1323$	0,906 0,850 0,866
Mädchen	27	$7,46K_t + 44,2$ $W_{170} = 8,16 W + 150$ $7,83 H - 660$	0,798 0,740 0,715
Jungen + Mädchen		$8,73K_t + 22,2$ $W_{170} = 10,80 W + 148$ $10,90 H - 1029$	0,862 0,629 0,718

Tab. 16 : Gleichungen der Regressionsgeraden für die Beziehungen zwischen W_{170} und Gesamtkalium (K_t in g), dem Körpergewicht (W in kg) und der Körperlänge (H in cm) getrennt nach Geschlechtern und für das gesamte Kollektiv (aus BURMEISTER et al. 1972)

2.3. Anwendung der Meßgröße W_{170} zur Beurteilung der körperlichen Leistungsfähigkeit

Wie bereits von HOLMGREN gezeigt wurde, kann die Meßgröße W_{170} in ähnlicher Weise wie die maximale O_2 -Aufnahme als Maß für die Sauerstoff-Transportkapazität des menschlichen Organismus angesehen werden. Es ist darum zu erwarten, daß man mit dieser Meßgröße die Leistungsfähigkeit des kardiopulmonalen Systems beschreiben kann, wobei es möglich sein muß, vor allem Alters-, Geschlechts- und Trainingsunterschiede hinreichend genau zu erfassen.

Entsprechend dieser Erwartung sind in den letzten zwei Jahrzehnten verschiedentlich Untersuchungen an unterschiedlich großen Gruppen gesunder und kranker Erwachsener bzw. Heranwachsender unter Anwendung der W_{170} durchgeführt worden (z.B. WAHLUND, ADAMS et al., CUMMING und CUMMING, HOWELL und MACNAB, SELIGER et al. und MOCELLIN et al.).

Die dabei gewonnenen Ergebnisse differierten jedoch - wie oben ausgeführt wurde - nicht unbeträchtlich; sie ließen sich auch nur zum Teil auf methodische Unterschiede zurückführen, wie die von uns und von den Mitarbeitern des "International Biological Program", Section "Human Adaptability" (ANDERSEN 1966; ANDERSEN et al.) durchgeführten Studien ergaben. Vielmehr ließ sich zeigen, daß die Meßwerte für Kollektive eines bestimmten Lebensalters u.ä. sich in den einzelnen Ländern zum Teil recht erheblich darum unterscheiden, weil die Trainingsgewohnheiten bzw. das Ausmaß der täglichen körperlichen Aktivität doch sehr unterschiedlich waren.

Aus diesem Grunde war es notwendig, für deutsche Verhältnisse eigene "Normwerte" zu gewinnen und diese Werte durch die Beschreibung der beruflichen oder sportlichen Trainingsmöglichkeiten der untersuchten Personengruppen näher zu charakterisieren.

2.3.1. Abhängigkeit der Meßgröße W_{170} vom Lebensalter

Die Abhängigkeit der Meßgröße W_{170} vom Lebensalter haben wir an insgesamt 1042 Personen im Alter zwischen 5 und 55 Jahren untersucht. Davon waren 326 Mädchen im Alter zwischen 5 und 18 Jahren; Frauen über 18 Jahren konnten von uns nicht untersucht werden.

a) Absolute Werte :

Die Ergebnisse unserer Untersuchungen haben wir in Abb. 10 sowie in Tab. 17 und 19 aufgeführt. Wie in der Abb. 10 zu erkennen, nahm die Meßgröße W_{170} bei Jungen und Mädchen bis zum Alter von 17 bis 18 Jahren zunächst fast linear, später aber geometrisch degressiv zu. Die Zunahme entsprach dem Verlauf der geschlechtsspezifischen Wachstumskurven, wobei vermerkt werden muß, daß die bis zum 18. Lebensjahr untersuchten Personen nicht besonders ausgesucht waren, sondern nach Zufallskriterien in verschiedenen Grund-, Haupt- und Berufsschulen sowie Gymnasien zusammengestellt wurden. Jugendliche Hochleistungssportler sowie Übergewichtige wurden von den Untersuchungen ausgeschlossen.

Während somit bis zum 18. Lebensjahr ein ziemlich homogenes Untersuchungsgut zusammengestellt wurde, mußten wir für die höheren Altersgruppen deutlicher differenzieren. So ließ sich keine Gruppe zusammenstellen, die im Alter von 18 bis 25 Jahren hinsichtlich ihrer täglichen körperlichen Aktivität direkt vergleichbare Werte der W_{170} zur Gruppe der 17- bis 18-jährigen aufwies. Nimmt man die Gruppe der Radarlotsen als am ehesten vergleichbares Kollektiv an, so läßt sich zeigen, daß die absolute Größe der W_{170} vom 20. bis 55. Lebensjahr ziemlich konstant blieb.

b) Relative Werte (Bezug auf das Körpergewicht) :

Bei Bezug auf das Körpergewicht (W/kg Körpergewicht) findet sich für die Gruppe der 5- bis 18-jährigen die oben beschriebene Tendenz etwas deutlicher ausgeprägt (Abb. 11; Tab. 18, 19).

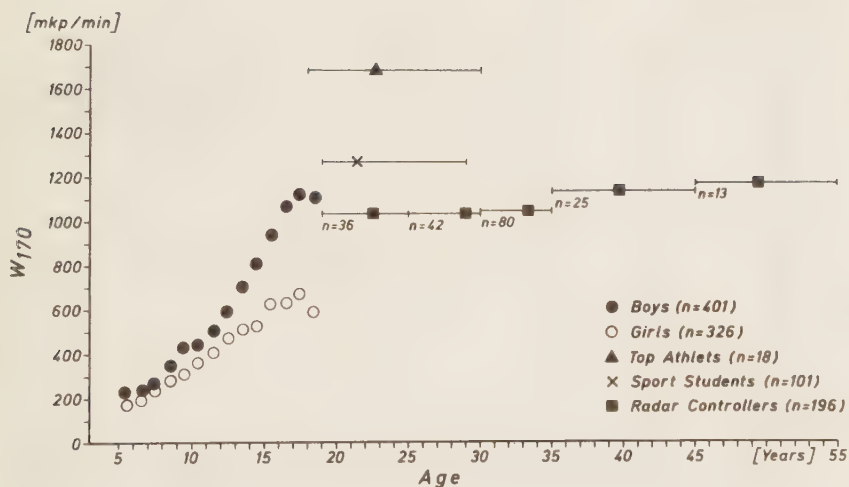


Abb. 10 : W_{170} (in mkp/min) in verschiedenen Alters-,
Leistungs- und Berufsgruppen

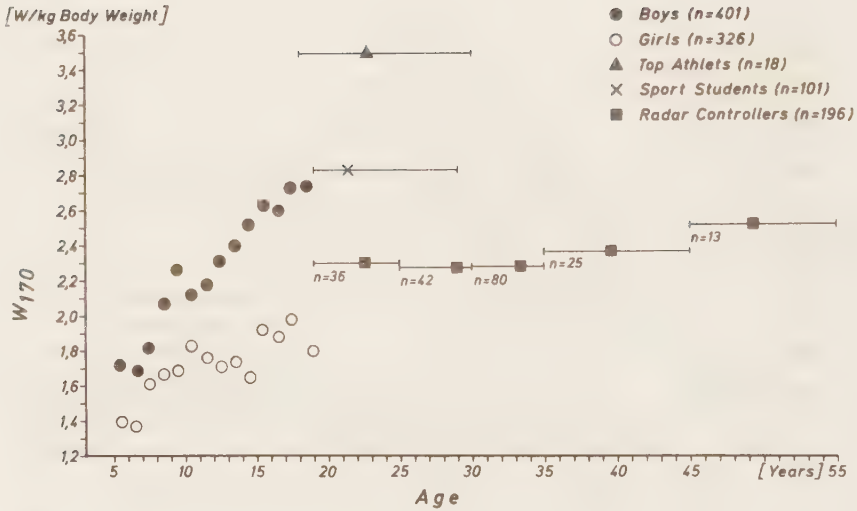


Abb. 11 : W_{170} (in W/kg Körpergewicht) in verschiedenen Alters-, Leistungs- und Berufsgruppen

Alter	Jungen			Mädchen			Differenz
	n	AM W_{170} mkp/min	SD	n	AM W_{170} mkp/min	SD	AM W_{170} mkp/min
5	12	230	66	11	172	34	58
6	13	240	51	14	198	53	42
7	33	271	95	27	238	83	33
8	26	359	84	32	285	86	74
9	43	433	93	33	315	81	118
10	35	438	103	27	362	109	76
11	29	506	105	26	411	66	95
12	33	597	124	26	479	119	118
13	32	705	169	35	518	119	187
14	36	815	181	28	531	121	284
15	24	949	187	20	629	105	319
16	31	1073	146	17	638	130	435
17	32	1129	195	14	677	158	452
18	22	1116	210	16	594	112	522

Tab. 17 : Arithmetische Altersklassenmittelwerte (AM) $\pm$
 Streuungen (SD) der W_{170} (in mkp/min) im Jugendalter.
 Die letzte Spalte der Tabelle enthält die Differenz
 zwischen Jungen und Mädchen

Alter	Jungen			Mädchen			Differenz
	n	AM W_{170} W/kg K.G.	SD	n	AM W_{170} W/kg K.G.	SD	AM W_{170} W/kg K.G.
5	12	1,72	0,45	11	1,39	0,30	0,33
6	13	1,69	0,40	14	1,37	0,33	0,32
7	33	1,82	0,59	27	1,61	0,46	0,21
8	26	2,08	0,38	32	1,67	0,48	0,41
9	43	2,26	0,36	33	1,69	0,34	0,57
10	35	2,12	0,50	27	1,83	0,56	0,39
11	29	2,18	0,46	26	1,76	0,33	0,42
12	33	2,31	0,38	26	1,71	0,41	0,61
13	32	2,40	0,31	35	1,74	0,36	0,66
14	36	2,52	0,43	28	1,65	0,43	0,87
15	24	2,63	0,35	20	1,92	0,37	0,71
16	31	2,60	0,38	17	1,88	0,34	0,72
17	32	2,73	0,46	14	1,98	0,34	0,75
18	22	2,74	0,52	16	1,80	0,23	0,94

Tab. 18 : Arithmetische Altersklassenmittelwerte (AM) $\pm$ Streuungen (SD) der W_{170} bezogen auf das Körpergewicht (W/kg Körpergewicht) im Jugendalter. Die letzte Spalte der Tabelle enthält die Differenz zwischen Jungen und Mädchen

	Alter	n	W ₁₇₀ mkp/min		W ₁₇₀ W/kg	
			AM	SD	AM	SD
1. Fluglotsen	19-25	36	1039	183	2,30	0,42
	26-30	42	1040	194	2,27	0,44
	31-35	80	1058	187	2,28	0,39
	36-46	25	1147	237	2,36	0,46
	46-55	13	1182	150	2,51	0,21
2. Sportstudenten	19-31	101	1277	208	2,83	0,41
3. Hochleistungs- sportler	18-29	18	1691	242	3,49	0,59

Tab. 19 : Arithmetische Mittelwerte (AM) $\pm$ Streuungen (SD) der W₁₇₀ (in mkp/min) bzw. (W/kg Körpergewicht) in verschiedenen Alters-, Berufs- und Leistungsgruppen im Erwachsenenalter

So steigt die W_{170} in W/kg Körpergewicht bei Jungen von 1,72 W/kg Körpergewicht im Alter von 5 Jahren auf 2,7 W/kg Körpergewicht im Alter von 18 Jahren an. Bei den Mädchen fanden wir im gleichen Zeitraum einen Anstieg von 1,39 im 5. Lebensjahr auf 1,8 bis 1,98 W/kg Körpergewicht im 16. bis 19. Lebensjahr.

Aus der Abbildung und den Tabellen geht weiter hervor, daß bei den Jungen nach dem 18. Lebensjahr vergleichbar anschließende "Werte" nur noch bei den Sportstudenten zu finden waren, während bei den Radarlotsen im Alter von 20 bis 30 Jahren Werte erreicht wurden, die den Verhältnissen bei 12-jährigen Jungen entsprachen, und erst bei den 46- bis 55-jährigen wieder Werte erreicht wurden, die im Mittel mit denen der 14-jährigen übereinstimmten.

Dabei muß darauf hingewiesen werden, daß die Gruppe der 46- bis 55-jährigen insofern ein etwas ausgesuchtes Kollektiv war, als es durch vorangegangene Rehabilitationskuren auf die Bedeutung einer täglichen körperlichen Aktivität besonders hingewiesen worden war.

2.3.2. Abhängigkeit der Meßgröße W_{170} vom Geschlecht

Wie im vorangehenden Abschnitt beschrieben, veränderte sich die Meßgröße W_{170} im Jugendalter in Form der geschlechtsspezifischen Wachstumskurven. Dabei geht man von der Erwartung aus, daß Geschlechtsunterschiede hinsichtlich der körperlichen Leistungsfähigkeit ab der Pubertät besonders deutlich werden sollten.

a) Absolute Werte :

In Tab. 17 ist neben den Altersklassenwerten für beide Geschlechter auch die Differenz für die mittleren W_{170} -Werte zwischen beiden Geschlechtern aufgeführt. Aus der Tab. 17 ist abzulesen, daß diese Differenz von 58 mkp/min im fünften Lebensjahr auf 522 mkp/min im 18. Lebensjahr zunahm. Drückt man dabei die Leistungsfähigkeit der Mädchen in % zur Leistungsfähigkeit der Jungen aus, so beträgt sie im Alter von 5 Jahren 74,8 %, geht aber bis zum Alter von 18 Jahren auf 53,2 % zurück.

Diese Tendenz ist jedoch nicht durchlaufend gleich. So fanden wir in unserem Untersuchungsgut die geringste Differenz hinsichtlich der W_{170} zwischen Jungen und Mädchen im 7. Lebensjahr; doch war ein relativ geringer Unterschied der Leistungsfähigkeit bis zum 12. Lebensjahr nachweisbar.

b) Relative Werte (Bezug auf das Körpergewicht)

Berechnet man die W_{170} in Watt/kg Körpergewicht, so finden sich die gleichen Tendenzen wie bei Betrachtung der absoluten Werte. Auffällig ist dabei jedoch, daß die höchsten relativen Altersklassenmittelwerte, die bei Mädchen im Alter von 17 Jahren erreicht wurden, bei den Jungen bereits im Alter von 8 Jahren überschritten wurden. Dadurch wird besonders deutlich, wie sehr die geschlechtsspezifische relative Zunahme des Fettanteils am Körpergewicht bei den Mädchen deren erreichbare körperliche Leistungsfähigkeit begrenzt, worauf in den vorangegangenen methodischen Untersuchungen (S. 64) bereits hingewiesen wurde.

2.3.3. Abhängigkeit der W_{170} von den Trainingsgewohnheiten in Sport und Beruf

Wie verschiedentlich nachgewiesen wurde (z.B. HOLLMANN 1963), hängt die körperliche Leistungsfähigkeit nach Abschluß des Wachstums vor allem von dem Ausmaß der täglichen körperlichen Aktivität ab. Diese tägliche körperliche Aktivität hat einen beruflichen und einen freizeitlichen Anteil, doch wird die tägliche körperliche Aktivität wegen der zu erwartenden Zeitanteile im Grunde nur dann sehr hoch sein können, wenn in die Zeit der täglichen Berufsarbeit besonders hohe körperliche Aktivitäten fallen und umgekehrt.

Aus diesem Grunde wird man bei Berufen mit sitzender Lebensweise auch bei Freizeitinteressen für sportliche Betätigung eine relativ geringe tägliche körperliche Gesamtaktivität erwarten. Als Beispiel für eine solche Lebensweise haben wir die Gruppe der Radarlotsen ausgesucht.

Da es heute nur noch wenige Gruppen mit hoher beruflicher körperlicher Aktivität gibt, haben wir zum Vergleich eine Extremgruppe herangezogen, bei der die körperliche Aktivität sich mehr und mehr zum Lebensinhalt und zum Teil zum "Hauptberuf" entwickelt hat : die Hochleistungssportler. Bei den von uns untersuchten Hochleistungssportlern handelte es sich zwar durchweg um "Amateure", doch standen einige wegen der Olympia-Vorbereitung in einer besonderen Trainingssituation, die eine ausgedehntere zusätzliche Berufstätigkeit kaum zuließ.

Eine Zwischengruppe bildeten schließlich die Sportstudenten, bei denen sitzende Lebensweise (Unterricht) und körperliche Aktivität (Ausbildung) zeitlich in einem gewissen Gleichgewicht standen, da ihr "Beruf" beide Tätigkeiten in gleicher Weise notwendig machte.

a) Absolute Werte :

Zum Vergleich des beruflichen Einflusses auf die körperliche Leistungsfähigkeit haben wir in Abb. 10 sowie in Tab. 19 die absoluten Werte für die drei Gruppen aufgeführt. Vergleichbar ist hier der Altersabschnitt vom 19. bis 31. Lebensjahr.

Wie die Abb. 10 klar erkennen läßt, war der Unterschied in den W_{170} -Werten zwischen Hochleistungssportlern und Radarlotsen besonders groß.

Die mittlere Differenz von 652 mkp/min ist beträchtlich und entspricht in der Altersentwicklung der W_{170} ungefähr der Differenz vom 11. bis zum 18. Lebensjahr bei Jungen; sie ist größer als die gesamte altersbedingte Differenz bei den Mädchen zwischen dem 5. und 18. Lebensjahr.

Auffällig ist weiter, daß in unserem Untersuchungsgut die Sportstudenten am ehesten die bis zum 18. Lebensjahr erkennbare Entwicklungstendenz für die körperliche Leistungsfähigkeit fortsetzten, die durch die Gruppe der 18-jährigen jedoch unterbrochen wurde.

Interessant ist es darum, die Varianz mit in die Betrachtung einzubeziehen, da die Varianz nach Abschluß des Wachstums um so kleiner werden müßte, je homogener die Trainingsbedingungen einer Gruppe sind. Betrachtet man darum die Varianz in den einzelnen Gruppen, dann fällt auf, daß sie bei den 17-jährigen Jungen 17,2 % betrug, bei den 18-jährigen jedoch 18,8 %. Eine ähnlich hohe Varianz weisen die Radarlotsen mit 17,6 % im Alter von 19 bis 25 Jahren und mit 18,6 % im Alter von 26 bis 30 Jahren auf.

Im Gegensatz dazu nimmt die Varianz bei den trainierenden Gruppen auch mit zunehmendem Alter noch ab. Sie betrug bei den 19- bis 31-jährigen Sportstudenten 16,3 % und bei den 18- bis 29-jährigen Hochleistungssportlern nur noch 14,3 %.

Man gewinnt darum den Eindruck, daß sich im 17. bis 18. Lebensjahr hinsichtlich der Trainingsgewohnheiten eine Bruchstelle findet, bei der eng begrenzte Gruppen ihre bis dahin mehr oder weniger spontanen Trainingsgewohnheiten beibehalten können oder steigern, während andere Gruppen sich nur gelegentlich zu mehr oder weniger großer körperlicher Aktivität aufraffen können, was nicht nur zu einer Senkung der körperlichen Leistungsfähigkeit sondern vor allem zu einer breiteren Streuung der Meßwerte führt.

b) Relative Werte (Bezug auf das Körpergewicht)

Bezieht man die W_{170} auf das Körpergewicht, dann werden die oben beschriebenen Tendenzen noch deutlicher, da bei sitzender Lebensweise nicht nur die körperliche Leistungsfähigkeit durch mangelndes Training abnimmt, sondern darüber hinaus das Körpergewicht - offenbar in Folge einer davon abhängigen Regulationsstörung (MAYER) - über eine relative Fettzunahme ansteigt.

Auf diese Weise ergibt sich in unseren Untersuchungen, daß der im Alter von 17 bis 18 Jahren bei den Jungen erreichte relative Wert der W_{170} von 2,7 Watt/kg Körpergewicht nur von den Sportstudenten im Alter von 19 bis 31 Jahren mit 2,8 Watt/kg Körper-

gewicht gehalten werden konnte, während die Radarlotsen nur noch Werte von 2,3 Watt/kg Körpergewicht erreichten.

Daß dieser Wert jedoch nicht schicksalhaft hinzunehmen ist, erweist sich bei der Betrachtung der älteren Radarlotsen. Da diese zum verstärkten Training hingeführt worden waren, erhöhte sich der Wert auf 2,5 Watt/kg Körpergewicht, was wahrscheinlich nicht nur durch eine Zunahme des täglichen Trainings sondern auch durch eine Verminderung des Körpergewichts erreicht wurde (vgl. Tab. 5).

Andererseits läßt diese Betrachtungsweise aber auch die besondere Ausnahmestellung der Hochleistungssportler erkennen, die in der Altersgruppe der 18- bis 29-jährigen einen Wert von 3,49 aufwiesen. Dieser Befund impliziert dabei die Feststellung, daß ihr Fettanteil am Körpergewicht besonders gering gewesen sein muß.

III. DISKUSSION DER ERGEBNISSE

In unserer Untersuchung zur Frage einer Beurteilung der körperlichen Leistungsfähigkeit mit Hilfe der W_{170} kam es uns vor allem darauf an, die Verwendbarkeit der Meßgröße als Routine-methode in der arbeits- und sportmedizinischen Praxis zu prüfen. Zu diesem Zweck haben wir Vergleiche zwischen der W_{170} und der maximalen O_2 -Aufnahme, bezogen auf verschiedene Bezugsgrößen, in verschiedenen Alters-, Berufs- und Leistungsgruppen und bei verschiedenen Formen des Belastungsanstieges angestellt.

Auf die enge Korrelation der W_{170} mit anderen statischen und dynamischen Meßgrößen wie dem Gesamthämoglobin, dem Blutvolumen, dem Herzvolumen und der maximalen Sauerstoffaufnahme wurde in der Literatur verschiedentlich hingewiesen (ÅSTRAND et al., KEUL et al. sowie HOLMGREN). Auch in unseren Vergleichsuntersuchungen kamen wir bezüglich der maximalen Sauerstoffaufnahme zum gleichen Ergebnis, wobei jedoch in Test-Retest-Versuchen speziell in jüngeren Altersgruppen die W_{170} eine etwas bessere Reliabilität aufwies. Dieses Ergebnis steht in einem gewissen Gegensatz zu der Aussage von TAYLOR et al., die auch im Kindesalter die Bestimmung der maximalen Sauerstoffaufnahme als beste Methode zur Beurteilung der körperlichen Leistungsfähigkeit halten. Der Grund für die bessere Reliabilität liegt unseres Erachtens darin, daß kleine Kinder nur schwer über eine rein spielerische Beschäftigung auf dem Ergometer zu einer maximalen Leistung motiviert werden können (RUTENFRANZ et al. 1964a, b; RUTENFRANZ 1964). Außerdem stellten wir fest, daß bei unserer Versuchsanordnung mit einer konstanten Drehzahl von 60 Pedalumdrehungen in der Minute und relativ lang dauernden submaximalen Belastungsstufen die Kinder bei maximaler Belastung muskulär sehr schnell ihre Leistungsgrenze erreichten. Andere Untersucher umgehen diese Schwierigkeit, indem auf der maximalen Belastungsstufe nicht die Belastung, sondern die Drehzahl erhöht wird. Eine solche Gefahr bestand bei der Bestimmung der W_{170} mit stufenweise steigender Leistung in weit geringerem Maße und bei kontinuierlich steigender Leistung überhaupt nicht, da Kinder recht leicht eine Pulsfrequenz von 170 Schlägen in der

Minute erreichen.

Beim Vergleich der mit verschiedenen Formen des Leistungsanstieges bestimmten maximalen O_2 -Aufnahme und W_{170} kamen wir übereinstimmend mit BINKHORST und LEEUWEN sowie ÅSTRAND und SALTIN (1961a) zu dem Ergebnis, daß sich die erreichten Maximalwerte der Sauerstoffaufnahme und der Herzfrequenz bei den verschiedenen Belastungsformen nicht unterscheiden. Sowohl die erwachsenen Versuchspersonen von BINKHORST und LEEUWEN als auch unsere Jugendlichen erreichten jedoch mit kontinuierlichem Leistungsanstieg deutlich höhere maximale Leistungen als bei stufenweisem Leistungsanstieg. Für den daraus resultierenden größeren Wirkungsgrad mußte sich eine Erklärung finden.

ÅSTRAND und SALTIN konnten bei Untersuchungen über die O_2 -Aufnahme während der ersten Minute einer schweren körperlichen Arbeit zeigen, daß bei einer Belastung, die 6 min lang geleistet werden kann, die Sauerstoffaufnahme nach 1 min erst 84 % des Endwertes erreicht hat. Ähnlich verhielten sich die Herzfrequenzen. Je nach Schwere der geforderten Leistung wich der in der ersten Minute erreichte Wert vom Endwert ab. Bei sehr schweren Belastungen, die etwa nur 2 min geleistet werden konnten, war die Abweichung gering, bei 6-minütigen Belastungen jedoch erheblich größer.

Da es sich in unseren Versuchen mit kontinuierlichem Leistungsanstieg um recht lange Versuche (zwischen 15 und 25 Minuten) handelte und zudem die Belastung nur um 10 Watt in jeder Minute erhöht wurde, war es theoretisch zu erwarten, daß die tatsächliche Pulsfrequenz immer weiter unter der zu erwartenden Endfrequenz bei steady state Bedingungen (oder "relativen" steady state Bedingungen) bei stufenweisem Leistungsanstieg zurückbleiben mußte. Unsere Vergleichsuntersuchungen beweisen die Richtigkeit einer solchen Annahme.

Bei schnellen Leistungsanstiegen, wie sie am Beginn einer 6 min Belastungsstufe auftreten, kommt es außerdem zu einem schnelleren Anstieg der Temperatur und zu einem Absinken des pH durch An-

sammlung von Laktat im arbeitenden Muskel (ÅSTRAND und SALTIN 1961a; KNUTTGEN und SALTIN). Das wiederum beeinflusst die Sauerstoffabgabe aus dem Blut positiv (Bohr-Effekt). Insgesamt muß sich danach der Wirkungsgrad verschlechtern, weil zur Energiegewinnung vermehrt anaerobe Prozesse herangezogen werden, wie der Laktatanstieg beweist.

ÅSTRAND und SALTIN (1961a) forderten auf Grund ihrer Ergebnisse, daß Kreislauf und Respirationsgrößen auf submaximalen Belastungsstufen möglichst unter "steady state" Bedingungen untersucht werden sollten. Die Zeit, bis solche Bedingungen erreicht sind, hängt von der Arbeitsschwere und dem Trainingszustand der Versuchsperson ab. Die Untersucher fordern deshalb auf submaximalen Belastungsstufen eine Versuchsdauer von mindestens 5 Minuten.

Diesen Forderungen können wir uns auf Grund unserer methodischen Untersuchungen anschließen. Wir fanden nämlich, daß die Test-Retest-Reliabilität für die maximale O_2 -Aufnahme in den Versuchen mit stufenweise steigender Leistung durchweg geringfügig höher lag als in den Versuchen mit kontinuierlichem Leistungsanstieg. Dieses Ergebnis läßt sich dahingehend interpretieren, daß unsere Versuchspersonen bei stufenweisem Belastungsanstieg unter "steady state" Bedingungen gearbeitet haben, während das bei den Versuchen mit kontinuierlichem Leistungsanstieg nicht der Fall war. Trainingsunterschiede müssen sich dabei verstärkt bemerkbar machen, so daß eine geringere Test-Retest-Reliabilität resultiert.

Genau umgekehrte Verhältnisse fanden sich für die W_{170} . So war die Test-Retest-Reliabilität besonders bei jüngeren Kindern höher in Versuchen mit kontinuierlichem Leistungsanstieg. Hier waren jedoch auf Grund der Versuche von ÅSTRAND und SALTIN 1961a bei dieser Form des Leistungsanstieges höhere W_{170} -Werte zu erwarten, weil die Regressionsgerade zwischen Leistung und Pulsfrequenz unter diesen Bedingungen flacher verläuft. Es mußte darum die systematische Abweichung zwischen beiden Belastungsformen geklärt werden, um solche Ergebnisse mit den Ergebnissen anderer Untersucher vergleichen zu können.

Wir konnten in unseren Versuchen nachweisen, daß zwischen den Werten der W_{170} bei stufenweisem bzw. bei kontinuierlichem Leistungsanstieg ein systematischer Unterschied von 90 mkp/min zu Gunsten des kontinuierlichen Leistungsanstieges besteht. Der Unterschied war zudem in allen untersuchten Altersgruppen nahezu gleich, was vermuten läßt, daß jüngere Kinder in unseren Versuchen besondere Anpassungsschwierigkeiten bei Steigerung der Belastung hatten. Wir vermuten, daß dieser Effekt zum Teil dadurch zu erklären ist, daß bei jüngeren Kindern die neuromuskuläre Koordination deutlich weniger entwickelt ist als bei älteren Kindern (ASMUSSEN und HEEBØLL-NIELSEN). Außerdem muß man bedenken, daß die Beanspruchung bei absolut gleicher Anstiegsgeschwindigkeit von 60 mkp/min² (~ 10 W) bei jüngeren Kindern relativ schneller ansteigt. Um ein Beispiel zu nennen, dauert es bei einem jungen Erwachsenen mit einem Körpergewicht von 70 kg 7 min, bis die Belastung um 1W/kg Körpergewicht angestiegen ist. Dagegen steigt die Belastung bei einem 35 kg schweren Kind bei gleicher Anstiegsgeschwindigkeit in der gleichen Zeit um 2 W/kg. Die relative Änderung pro Zeiteinheit ist also doppelt so hoch. Um diese Frage endgültig zu klären, müßte die Belastung relativ gleich gesteigert werden, also etwa um 1 W/kg Körpergewicht in 6 min.

Zum Vergleich unserer Normwerte der W_{170} im Kindes- und Jugendalter mit den Ergebnissen anderer Untersucher sind diese Überlegungen jedoch nur von theoretischem Interesse, da wir bei unseren Versuchen die W_{170} stets mit kontinuierlich um 60 mkp/min² ansteigender Belastung bestimmt haben. Wir haben unsere Ergebnisse auf Grund der Vergleichsuntersuchungen darum jeweils um 90 mkp/min korrigiert. In Tab. 20 bzw. 21 wurden von THORÉN et al. die absoluten bzw. relativen Werte aus unseren Ergebnissen (RUTENFRANZ et al. 1973) den Ergebnissen von ADAMS et al., CUMMING und CUMMING, ELO et al., HOWELL u. MACNAB, MÁČEK et al. sowie SELIGER et al. gegenübergestellt.

Bei einem ersten groben Vergleich der hier angeführten Ergebnisse fällt die Ähnlichkeit der in verschiedenen Ländern ermittelten "Normwerte" auf. Trotzdem bestehen noch deutliche Unterschiede, die nach Ausschluß systematischer Differenzen einer Erklärung bedürfen.

Age	Adams et al. 1961a		Adams et al. 1961b		Adams et al. 1961b		Cumming 1963		Elo et al. 1965		Howell a. Macnab 1968	
	n ♂	n ♀	n ♂	n ♀	n ♂	n ♀	n ♂	n ♀	n ♂	n ♀	n ♂	n ♀
5												
6	331	265					270	220				
7	368	287					340	250				
8	438	343					457	312				
9	472	337					435	309	424	318	351	285
10	551	406	510	374	490	420	458	329	480	430	385	306
11	650	488	624	518	569	423	474	497	552	412	427	337
12	703	483	611	522	622	460	533	436	574	484	494	361
13	739	564			622	460	645	336	583	626	554	417
14	964	542									655	451
15							772	497			728	437
16							739	489			740	444
17							972	621			853	459
18											874	477

Tab. 20 : W_{170} -Werte (in mkp/min) in Abhängigkeit von Alter und Geschlecht im Jugendalter nach verschiedenen Untersuchern (aus THOREN et al.)

Age	Máček et al. 1970a		Máček et al. 1970b		Mocellin et al. 1971		Seliger et al. 1971		Rutenfranz et al. 1973	
	n = ♂	♀	n = ♂	♀	n = ♂	♀	n = ♂	♀	n = ♂	♀
5					217	172			230	172
6					241	187			240	198
7					253	243			271	239
8	378	360			384	254			359	285
9					439	330			433	315
10	451	439			429	386			438	362
11					542	389			506	411
12	641	494			579	469	561	407	597	479
13					601	541			705	518
14	836	567			821	513			815	531
15					941	593	903	589	949	629
16					1091	623			1073	638
17					1141	677			1129	677
18					1051	584	1143	624	1116	594

Fortsetzung der

Tab. 20 : W_{170} -Werte (in mkp/min_x) in Abhängigkeit von Alter und Geschlecht im Jugendalter nach verschiedenen Untersuchern (aus THOREN et al.)

Age	Adams et al. 1961a	Adams et al. 1961b	Adams et al. 1961b	Cunning a. Cumming 1963	Elo et al. 1965	Howell a. Macnab 1968
	n = 243 ♂ ♀	n = 94 ♂ ♀	n = 102 ♂ ♀	n = 110 ♂ ♀	n = 119 ♂ ♀	n = 2107 ♂ ♀
5						
6	2.26 1.81			1.92 1.72		
7	2.08 1.88			2.14 1.64	2.34 1.93	1.96 1.57
8	2.39 1.87			2.50 1.55	2.37 1.87	2.08 1.74
9	2.21 1.73			2.10 1.75	2.60 2.17	2.08 1.68
10	2.26 1.75	2.53 1.80	2.23 2.09	2.21 1.80	2.65 2.11	2.09 1.66
11	2.32 1.82	2.62 1.02	2.59 1.93	2.29 1.89	2.72 2.27	2.16 1.65
12	2.40 1.72	2.57 2.09	2.43 1.93	2.18 1.59	2.65 2.46	2.18 1.62
13	2.38 1.68			2.52 1.31		2.28 1.50
14	2.68 1.48			2.43 1.29		2.26 1.39
15				1.99 1.64		2.10 1.35
16				2.41 1.89		2.20 1.39
17						2.18 1.39
18						

Tab. 21 : W₁₇₀-Werte (in W/kg Körpergewicht) in Abhängigkeit von Alter und Geschlecht im Jugendalter nach verschiedenen Untersuchern (aus THOREN et al.)

Age	Máček et al. 1970a		Máček et al. 1970b		Mocellin et al. 1971		Seligier et al. 1971		Rutenfranz et al. 1973	
	n = 73 ♂	♀	n = 175 ♂	♀	n = 292 ♂	♀	n = 1891 ♂	♀	n = 727 ♂	♀
5					1.70	1.38			1.72	1.39
6					1.69	1.32			1.69	1.37
7					1.67	1.58			1.82	1.61
8	2.30	1.79			2.22	1.54			2.08	1.67
9					2.20	1.79			2.26	1.69
10	2.31	2.00			2.06	1.92			2.12	1.83
11					2.34	1.73			2.18	1.76
12	2.28	1.80	2.59	1.70	2.37	1.70	2.40	1.70	2.31	1.71
13					2.17	1.80			2.40	1.74
14	2.40	1.79	2.33	1.70	2.34	1.69			2.52	1.65
15					2.67	1.89	2.60	1.80	2.63	1.92
16					2.73	1.81			2.60	1.88
17					2.84	2.03			2.73	1.98
18					2.60	1.77	2.80	1.80	2.79	1.80

Fortsetzung der

Tab. 21 : W₁₇₀-Werte (in W/kg Körpergewicht) in Abhängigkeit von Alter und Geschlecht im Jugendalter nach verschiedenen Untersuchern (aus THORÉN et al.)

Wir konnten nachweisen, daß Differenzen in bestimmten Altersgruppen (meist nach dem Beginn der Pubertät) auf Unterschiede im Sportunterricht sowie auf Unterschiede in den Trainingsmöglichkeiten in der Freizeit zurückzuführen sind. Als Hinweis für die Richtigkeit einer solchen Annahme sei die Beobachtung von SELIGER et al. genannt, nach der im Alter zwischen 8 und 12 Jahren keine Unterschiede in der Leistungsfähigkeit von Kindern bestehen, gleichgültig ob sie in ihrer Freizeit in einem Sportclub trainieren oder nicht. Dagegen finden sich deutliche Unterschiede im Leistungsverhalten nach der Pubertät. So sind beispielsweise in dieser Altersgruppe Jugendliche, die in einem Sportverein regelmäßig trainieren, deutlich leistungsfähiger als ihre nichttrainierenden Alterskameraden.

Eine Erklärung für diese Tatsache muß in der unterschiedlichen Freizeitbeschäftigung der Kinder vor bzw. nach der Pubertät gesucht werden. Allem Anschein nach sorgt der natürliche kindliche Bewegungsdrang vor der Pubertät schon für einen optimalen Trainingsreiz, da sich zusätzliches Training nicht im Sinne einer deutlichen Zunahme der körperlichen Leistungsfähigkeit auswirkt (SCHMÜCKER und HOLLMANN). Zieht man die gleichen Überlegungen zu einer Erklärung von Unterschieden in der Leistungsfähigkeit unter den Kindern vor der Pubertät heran, müßte man vermuten, daß diese Unterschiede durch Unterschiede in der Freizeitgestaltung bedingt sein müßten. In der Tat konnten RUTENFRANZ et al. (im Druck) mit Hilfe von "time budget studies" nachweisen, daß Kinder mit guter körperlicher Leistungsfähigkeit insgesamt weniger schlafen und mehr anstrengende Freizeitbeschäftigungen bevorzugen als Kinder mit weniger guter körperlicher Leistungsfähigkeit. Die noch bestehenden Unterschiede in den "Normwerten" können unter diesem Aspekt interpretiert werden.

Deutliche Übereinstimmungen in den Ergebnissen lassen sich zwischen den Werten von HOWELL u. MACNAB und CUMMING und CUMMING einerseits bei Jungen bis zu einem Alter von 13 Jahren und bei Mädchen bis zu einem Alter von 12 Jahren nachweisen. Andererseits stimmen unsere eigenen Werte gut mit den Werten

von SELIGER et al. für untrainierte Kinder überein, die in einem sehr großen Kollektiv gewonnen wurden. Vergleicht man beide Gruppen untereinander, so wird deutlich, daß die größten Differenzen bei den Altersgruppen nach der Pubertät auftreten. Danach liegen unsere Werte und die Werte von SELIGER et al. sowohl absolut als auch auf das Körpergewicht bezogen deutlich über den Werten der kanadischen Untersucher. Diese Tatsache läßt Rückschlüsse über die Lebensgewohnheiten in den untersuchten Populationen zu.

Zudem wird aber deutlich, daß neben den ermittelten Daten über die körperliche Leistungsfähigkeit Zusatzinformationen notwendig sind. So interessieren vor allem Angaben über den Trainingszustand, den Entwicklungszustand und den Ernährungszustand der Versuchspersonen. Bei der Erstellung von Altersklassennormwerten sollte zumindest, wie in der Arbeit von SELIGER et al., nach der Pubertät zwischen trainierten und untrainierten Probanden unterschieden werden.

Deutliche höhere absolute und relative Werte erreichten trainierte Versuchspersonen von SELIGER et al. und ADAMS et al. Während es sich bei den in der Tschechoslowakei untersuchten Probanden sicher um einen echten Trainingseffekt handelt, handelt es sich bei der in Kalifornien untersuchten Population offenbar um besonders akzelerierte Kinder. Beispielsweise lag das Körpergewicht der Jungen im Durchschnitt 13 % über dem von MEREDITH angegebenen Normwert. Das Beispiel zeigt, welche Vorzüge und Nachteile die Beurteilung der körperlichen Leistungsfähigkeit mit Hilfe von Altersklassennormwerten mit sich bringt.

So kommen Trainingsunterschiede in einer Altersklasse nur dadurch zum Ausdruck, daß man die gefundene W_{170} auf das Lebensalter bezieht. Würde man, wie wir in unseren Untersuchungen über Bezugsgrößen körperlicher Leistungsfähigkeit nachweisen konnten, die W_{170} auf beispielsweise die Muskelmasse beziehen, so käme man zu der Feststellung, daß kein Unterschied zwischen Trainierten und Untrainierten besteht. Ebenso lassen sich die Geschlechtsunterschiede bis auf ein Minimum reduzieren. Zu dem

gleichen Ergebnis kommen ÅSTRAND et al. (1963), die nachwiesen, daß es durch Training zu einer Vergrößerung der W_{170} kommt, die auf einem harmonischen Wachstum der am Sauerstofftransport wie an der Sauerstoffutilisation beteiligten Organe beruht. Dies hat zur Folge, daß in den Beziehungen dieser Organe untereinander wie auch zu den Meßgrößen der körperlichen Leistungsfähigkeit keine Änderungen auftreten.

Andererseits zeigen die Untersuchungen von ADAMS et al. aber auch die Gefahren eines solchen Bezuges; denn er spiegelt zugleich den körperlichen Entwicklungsstand wider, was zu Fehldeutungen verleiten kann. Wie das Beispiel von ADAMS et al. beweist, kann die Leistungsfähigkeit von Kindern unter Berücksichtigung des Lebensalters besser erscheinen als unter Berücksichtigung der körperlichen Entwicklung, wenn die Kinder akzeptiert sind. Umgekehrt kann die Leistungsfähigkeit bezogen auf das Lebensalter schlechter erscheinen, wenn die Versuchspersonen retardiert sind. Auch hier wird deutlich, daß Parameter der körperlichen Entwicklung wie Körperlänge und Körpergewicht als Zusatzinformationen bei der Beurteilung der körperlichen Leistungsfähigkeit notwendig sind, wenn speziell die Frage nach der Einordnung der Kinder in ihre Altersgruppe gestellt wird, oder wenn es sich um Kinder handelt, die eben nicht der "Norm" entsprechen. Dabei handelt es sich in den meisten Fällen um übergewichtige Kinder mit chronischen Krankheiten.

Entspricht das Körpergewicht einer Versuchsperson dem altersmäßig zu erwartenden Längensollgewicht, spielt es keine Rolle, auf welchen der drei Parameter Alter, Länge und Gewicht man die körperliche Leistungsfähigkeit bezieht. Ist man an eine Aufschlüsselung über das Verhalten des cardiopulmonalen Systems bei Tätigkeiten ohne große Bewegung des Körpers interessiert, bezieht man die W_{170} besser auf die Körperlänge (MOCELLIN et al.) oder beachtet besonders die absolute W_{170} . Ist man, wie wohl in den meisten Fällen, an einer Beurteilung des Herz-Kreislaufsystems bei Tätigkeiten, die eine Mitbewegung des Körpergewichtes erforderlich machen, interessiert, bezieht man

besser auf das Körpergewicht (RUTENFRANZ et al. 1968).

Nachdem also gesagt werden kann, daß die körperliche Leistungsfähigkeit vor dem Beginn der Pubertät im wesentlichen von der Aktivität in der Freizeit abhängt (SCHMÜCKER und HOLLMANN, RUTENFRANZ et al. im Druck, YOSHIZAWA), nach der Pubertät jedoch vom Training, erschien es uns interessant, den Einfluß von systematischem Training und den Einfluß der täglichen Arbeit auf die körperliche Leistungsfähigkeit im Erwachsenenalter zu prüfen; denn diese tägliche körperliche Aktivität des einzelnen scheint der bedeutendste Faktor für die Leistungsfähigkeit gesunder Erwachsener zu sein (ANDERSEN 1966). Die Industrialisierung und Urbanisierung, die in allen Ländern festzustellen ist, vermindert die Notwendigkeit großer körperlicher Anstrengung zum Lebensunterhalt. Außerdem weitet sich die Motorisierung auf immer größere Kreise aus, so daß es für viele Menschen möglich ist, einen erheblichen Teil ihres Lebens praktisch unter Ruhebedingungen zuzubringen. Erste Auswirkungen auf die körperliche Leistungsfähigkeit scheinen sich abzuzeichnen.

Stellvertretend für eine Berufsgruppe mit schwerer körperlicher Belastung haben wir eine Gruppe von Hochleistungssportlern gewählt, da solche Berufsgruppen deutlich im Abnehmen begriffen sind. Vor etwa hundert Jahren arbeiteten noch rund zwei Drittel der Bevölkerung schwer, heute entfällt nahezu der gleiche Prozentsatz auf leichte Arbeit, bei der nicht mehr als etwa 2400 Kalorien pro Tag benötigt werden.

Als eine Gruppe mit mittlerer körperlicher Aktivität wählten wir eine Gruppe von 101 Sportstudenten. Diese Gruppe erschien uns auch daher interessant, weil sie nach Beendigung der Schulzeit unter ähnlichen Bedingungen weiterlebten. Sie hatten mehrere Stunden praktischen Sportunterricht in der Woche, sonst eine sitzende Tätigkeit, mit Ausgleichssport in der Freizeit.

Als Vertreter einer "modernen" Berufsgruppe mit rein sitzender Kontroll- und Überwachungstätigkeit, mit hoher Verantwortung und starkem Stress, sowie Schichtdienstbelastung untersuchten

wir 196 Fluglotsen.

In dieser Gruppe konnten zusätzlich zwei Faktoren beobachtet werden, die für die moderne Arbeitswelt charakteristisch sind. Zum einen zeichnet sich hier eine Entwicklung ab, die mit einem deutlichen Rückgang des Kalorienverbrauches durch Arbeit einhergeht. Der tägliche Kalorienverbrauch durch Arbeit ist in den letzten hundert Jahren - besonders aber seit 1950 - gesunken. So betrug beispielsweise der mittlere tägliche Kalorienbedarf 1882 ca. 3100 Kcal, 1925 ca. 3000 Kcal, 1950 ca. 2950 Kcal und 1970 nur noch ca. 2500 Kcal. Auf der anderen Seite hat sich die Kalorienzufuhr keineswegs vermindert, sondern sie ist durch ein meist überkalorisches Nahrungsangebot noch geringgradig angestiegen. Für die vermehrte Kalorienzufuhr ist in erster Linie eine vermehrte Fettzufuhr verantwortlich zu machen, aber auch der Anstieg der Alkoholkalorien darf nicht unterschätzt werden (ca. 320 Kcal pro Tag) (HOLTMEIER). Im Endeffekt müssen sich beide Trends, einmal als Trainingsdefizit, zum anderen als Übergewicht, negativ auf die körperliche Leistungsfähigkeit auswirken.

Es war zu erwarten, daß die Gruppe der Hochleistungssportler die beste körperliche Leistungsfähigkeit aufwies, die Fluglotsen dagegen die schlechteste. Der Mittelwert der Sportstudentengruppe wurde zwischen diesen beiden Extremwerten erwartet. Diese Erwartung entsprach unseren Ergebnissen hinsichtlich der Rangreihe sowohl der absoluten als auch der relativen Werte der W_{170} . Interessant sind jedoch die Unterschiede, die auftreten, wenn man absolute und relative Werte miteinander vergleicht. So schließen sich die Sportstudenten sowohl absolut als auch relativ gut an die Gruppe der 17 bis 18-jährigen Jugendlichen an (vgl. Abb. 10 und 11). Betrachtet man von diesem Ausgangspunkt die relativen W_{170} -Werte der beiden anderen Gruppen, so tritt die deutlich bessere Leistungsfähigkeit der Hochleistungssportler gegenüber den Fluglotsen klar zu Tage.

Diese Ergebnisse lassen sich auf Grund des oben Diskutierten dahingehend interpretieren, daß bei den Sportstudenten ein

recht gutes Gleichgewicht zwischen Kalorienzufuhr und Kalorienverbrauch durch körperliche Aktivität gegeben sein muß. Offensichtlich genügt auch die relativ geringe wöchentliche Belastung durch die Sportausbildung, um ein Trainingsdefizit, das durch die sitzende Beschäftigung auftritt, auszugleichen.

Bei den Hochleistungssportlern sind die deutlich höheren absoluten Werte auf intensives Training zurückzuführen. Die Vergrößerung des Abstandes zu den Sportstudenten bei den relativen Werten ist auf die günstige Relation zwischen Depotfett und Muskelmasse zurückzuführen.

Wie fatal sich Übergewicht und Bewegungsmangel auf die körperliche Leistungsfähigkeit auswirken, zeigt sich bei den Fluglotsen. Während der Abstand bei den absoluten W_{170} -Werten, bezogen auf die Gruppe der Sportstudenten, zwar deutlich ist, wird er erschreckend, wenn man die Leistungsfähigkeit auf das Körpergewicht bezieht. So liegen die Werte nur knapp über dem Bereich, in dem man Werte erwachsener Frauen erwarten würde, wenn man annimmt, daß auch bei weiblichen Versuchspersonen das Maximum der natürlichen Leistungsfähigkeit mit 17 - 18 Jahren erreicht ist.

Diese Tatsache ist den Fluglotsen dabei durchaus bewußt. Wie SINGER und RUTENFRANZ gezeigt haben, wird von der überwiegenden Mehrzahl der Fluglotsen nämlich die Notwendigkeit von Freizeitsport eingesehen; denn 30,2 % der Lotsen sprechen sich z.B. im Rahmen ihrer Wünsche nach besseren sozialen Einrichtungen für die Möglichkeit von Sport in der Arbeitspause aus. Untersucht man jedoch, welche Sportarten von den Fluglotsen in der Freizeit gewählt werden, so wird Schwimmen als weitaus häufigster Freizeitsport und Tischtennis von 33 % als Pausensport angegeben. Das ist insofern interessant, weil sich beim Schwimmen das Übergewicht von allen Sportarten am wenigsten auswirkt. Zum anderen bevorzugen sie Tischtennis, eine Sportart, bei der das Kreislaufsystem nur bis zu 28 % der maximalen O_2 -Aufnahme beansprucht wird, während andere Sportarten folgende Prozentsätze der maximalen O_2 -Aufnahme beanspruchen : Fußball : 66 %;

Basketball : 74 %; Gymnastik : 45 - 55 %; Eishockey : 60 % und Skilanglauf : 84 % (SELIGER, 1968).

Beurteilt man die Leistungsfähigkeit unserer erwachsenen Versuchspersonen im Sinne WAHLUNDS, der bei männlichen Versuchspersonen eine W_{170} unter 900 mkp/min als "ungenügende" Leistungsfähigkeit, eine W_{170} zwischen 900 und 1200 mkp/min als "normale" und eine W_{170} über 1200 mkp/min als "gute" Leistungsfähigkeit bezeichnete, so kommt man zu dem Ergebnis, daß die Mittelwerte aller Altersgruppen der Fluglotsen durchaus im Normbereich lagen. Man darf dabei jedoch nicht vergessen, daß nur absolute W_{170} -Werte zum Vergleich zur Verfügung stehen, bei denen die Leistungsfähigkeit der Fluglotsen relativ gut erscheint. Trotzdem fanden wir 31 Werte unter 900 mkp/min.

Die Leistungsfähigkeit der Sportstudenten lag mit 1277 mkp/min im Mittel etwas über der oberen Normgrenze. Dieser Wert ist vergleichbar mit dem Wert der von SALTIN et al. untersuchten Versuchspersonen, die nach 10-wöchigem Fitnesstraining 1293 mkp/min erreichten. Ein Vergleich ist insofern interessant, da er erstens zeigt, daß die Sportstudenten sicher nicht hoch trainiert waren. Zum anderen zeigt er aber auch, daß bei durchweg sitzender Tätigkeit die körperliche Leistungsfähigkeit durch relativ geringe Aktivität aufrecht zu erhalten ist, wenn regelmäßig trainiert wird. Außerdem läßt sich damit nachweisen, wie schnell mit geeignetem Training eine abgefallene Leistungsfähigkeit auch im Erwachsenenalter zu verbessern ist. So verbesserten sich die von SALTIN et al. untersuchten Versuchspersonen von einem Ausgangswert von 1063 mkp/min, der etwa der Leistungsfähigkeit unserer Fluglotsen entsprach, um 230 mkp auf 1293 mkp/min, einen Wert, der noch über dem Mittelwert der Sportstudenten lag.

Unsere Ergebnisse der Gruppe der Hochleistungssportler stimmen gut mit der Gruppe von 27 Sportlern überein, die WAHLUND untersuchte. Mit 1691 gegenüber 1689 mkp/min waren die Werte praktisch identisch. Ähnlich hohe Werte erreichten nur noch 27 Mittelstreckenläufer mit 1551 mkp/min (CUMMING, 1967) und 26

Soldaten im Alter von 21 Jahren mit 1558 mkp/min (WAHLUND).

Ein Ergebnis, welches nicht von Anfang an zu erwarten war, ist die Tatsache, daß die W_{170} sowohl absolut als auch bezogen auf das Körpergewicht mit zunehmendem Alter anstieg. Nach Angaben in der Literatur wäre ein allmähliches Absinken der körperlichen Leistungsfähigkeit zu erwarten gewesen (KELLERMANN). Unseres Erachtens wird dieser Anstieg zweifellos zu einem erheblichen Teil durch spezielle aktive Kuraufenthalte der älteren Fluglotsen und den dadurch bedingten Trainingseffekt erklärt. Theoretisch sind jedoch auch noch weitere Erklärungen möglich.

Als erstes könnte die Leistungsfähigkeit älterer Fluglotsen im Vergleich zu jüngeren Kollegen dadurch besser erscheinen, daß in den älteren Gruppen nur noch die am besten Leistungsfähigen im Flugverkehrskontrolldienst eingesetzt würden. Zu dieser Vermutung verleitet auch die geringe Anzahl von Versuchspersonen in der Altersgruppe von 36 - 45 Jahren ($n = 25$) und von 46 - 55 Jahren ($n = 13$). Daß diese kleineren Kollektive nicht durch eine Selektion bedingt sind, erklärt sich daraus, daß es in dieser Altersstufe nicht wesentlich mehr Fluglotsen gibt, da der Bedarf an Lotsen vor 20 Jahren auf Grund des erheblich niedrigeren Verkehrsaufkommens wesentlich geringer war. Fast das gesamte Kollektiv der damaligen Fluglotsen ist heute noch im aktiven Kontrolldienst beschäftigt.

Zum zweiten muß beachtet werden, daß das Verhalten der Pulsfrequenz bei steigender Leistung sich mit steigendem Lebensalter ändert. So sinkt beispielsweise die maximale Pulsfrequenz von 195 ± 7 Schlägen in der Minute im Alter von 20 Jahren bis zum 60. Lebensjahr linear bis auf einen Wert von 160 Schlägen in der Minute ab (I. ÅSTRAND, BINKHORST et al. 1966, BOUHUYS et al.). MOCELLIN und RUTENFRANZ konnten zeigen, daß bei Jungen im Alter von 9 - 14 Jahren oberhalb einer Pulsfrequenz von 180 Schlägen/min ein "levelling off" der Pulsfrequenz einsetzt. Bezieht man Werte oberhalb dieser Frequenz in die Berechnung der W_{170} ein, kann eine scheinbar größere W_{170} durch eine zu

flache Regressionsgerade zwischen Pulsfrequenz und Leistung daraus resultieren.

Man kann nun vermuten, daß ein "levelling off" der Pulsfrequenz in höherem Lebensalter auf Grund der gesunkenen maximalen Pulsfrequenz entsprechend früher einsetzt. Da noch keine gesicherten Angaben darüber vorhanden sind, haben wir unsere Versuchspersonen über 35 Jahre nur noch bis zur Pulsfrequenz von 160 und die über 45-jährigen nur noch bis zu einer Pulsfrequenz von 150 Schlägen/min belastet, um sicher im linearen Bereich zwischen Pulsfrequenz und Leistung zu bleiben.

Ein weiterer Unterschied im Verhalten der Pulsfrequenz älterer Versuchspersonen fand sich am Anfang der Belastung bei 1 W/kg Körpergewicht. So erreichten Kinder und jüngere Erwachsene bei dieser Belastung etwa eine Pulsfrequenz von 120 Pulsschlägen pro Minute (MOCELLIN und RUTENFRANZ 1970b, DRESSLER und MELLE-ROWICZ), und man kann dann mit einer linearen Beziehung zwischen Pulsfrequenz und Leistung rechnen. Die Gruppe unserer älteren Versuchspersonen (46 - 55 J.) erreichten jedoch im Mittel nur 98 ± 10 Schläge/min, und es wäre denkbar, daß auch durch die Einbeziehung dieser Frequenzen eine scheinbar bessere Leistungsfähigkeit resultiert.

Um zu prüfen, inwieweit die bessere Leistungsfähigkeit unserer ältesten Versuchspersonen durch Artefakte im oben diskutierten Sinne bedingt sind, haben wir für dieses Kollektiv gesondert die Regressionsgerade zwischen Pulsfrequenz und Leistung errechnet. Sie folgte der Gleichung $y = 4,60x + 66,8$ bei einer Korrelation von 0,77. Berücksichtigt man dagegen nur Werte über 120 Schläge in der Minute, wie es etwa STRÖM fordert, so resultiert eine geringfügig flachere Gerade daraus, die der Gleichung $y = 3,11x + 92,5$ folgt. Die Korrelation ist jedoch auf Grund der geringeren Anzahl von Werten mit 0,54 deutlich schlechter.

Läge die Regressionsgerade aus allen Werten ($y = 4,60x + 66,8$) deutlich flacher als die Regressionsgerade aus den Werten über

120 Schlägen/min, so wäre erwiesen, daß durch die Einbeziehung von Werten unter dieser Frequenz eine scheinbar zu hohe W_{170} resultiert. Statt dessen finden sich genau umgekehrte Verhältnisse. Daraus, und aus der deutlich schlechteren Korrelation, läßt sich schließen, daß bei einigen Versuchspersonen dieser Altersstufe das "levelling off" der Pulsfrequenz schon ungefähr bei 150 Schlägen/min beginnt. Da jedoch die Steigungen der Geraden sich nicht wesentlich unterscheiden und der Korrelationskoeffizient bei Einbeziehung aller Werte über 1 Watt/kg bis zur Pulsfrequenz von 150 Schlägen/min 0,77 beträgt, kann man nach unserer Meinung von einer "linearen" Beziehung zwischen Pulsfrequenz und Leistung sprechen.

Die bessere absolute W_{170} der ältesten Fluglotsengruppe dürfte demnach tatsächlich trainingsbedingt sein. Die deutlich bessere relative W_{170} wird zusätzlich durch ein im Mittel um 2,5 kg geringeres Körpergewicht gegenüber der nächstjüngeren Gruppe bewirkt.

In der Frage von "Normwerten" der W_{170} im Erwachsenenalter kommen wir zum gleichen Ergebnis wie WAHLUND in seiner grundlegenden Arbeit aus dem Jahre 1948. Danach ist für einen erwachsenen Mann eine W_{170} (absolut) zwischen 900 und 1200 mkp/min als normal zu bezeichnen. Im Gegensatz zu KELLERMANN et al. konnten wir ein Absinken der W_{170} mit zunehmendem Alter nicht beobachten. Außerdem ist ein Normwert von 900 mkp/min, wie er von diesen Autoren angegeben wird, für unsere Verhältnisse sicher als zu niedrig anzusehen.

Neben der Größe der absoluten W_{170} halten wir jedoch einen Bezug auf das Körpergewicht für wesentlich aussagekräftiger. So werden beispielsweise die Unterschiede zwischen Sportstudenten und Fluglotsen erst durch diesen Bezug deutlich. Auch ist die Beurteilung der körperlichen Leistungsfähigkeit mit Hilfe der relativen W_{170} realistischer, da bei fast jeder körperlichen Betätigung die Körpermasse mitbewegt werden muß. Eine W_{170} zwischen 2,5 und 2,8 W/kg Körpergewicht kann auf Grund unserer Untersuchungen für einen erwachsenen Mann als Normwert gelten.

Bei der Bestimmung der W_{170} im Erwachsenenalter und speziell im höheren Erwachsenenalter (etwa über 50 J.) halten wir es jedoch für notwendig zu prüfen, inwieweit lineare Verhältnisse zwischen Pulsfrequenz und Leistung vorliegen. Beachtet man diese Aspekte, so halten wir im Gegensatz zu CUMMING die W_{170} für eine geeignete Meßgröße zur Bestimmung der körperlichen Leistungsfähigkeit vom Kindesalter bis zum höheren Erwachsenenalter.

IV. ZUSAMMENFASSUNG

In der vorliegenden Arbeit wurde die Aussagekraft der W_{170} zur Beurteilung der Leistungsfähigkeit in verschiedenen Alters-, Leistungs- und Berufsgruppen geprüft.

In methodischen Vorstudien konnten wir zeigen, daß ein systematischer Unterschied zwischen dem stufenweisen und dem kontinuierlichen Leistungsanstieg im Hinblick auf die Bestimmung der W_{170} besteht. Bei kontinuierlichem Belastungsanstieg wurde die W_{170} bei vier Altersgruppen zwischen 9 und 25 Jahren um den konstanten Wert von 90 mkp/min zu hoch ermittelt. Da sich jedoch auf Grund von Reliabilitätsprüfungen eine Prävalenz des kontinuierlichen Leistungsanstieges für die Bestimmung der W_{170} vornehmlich bei jüngeren Altersgruppen ableiten ließ, haben wir in den weiteren Untersuchungen dem kontinuierlichen Leistungsanstieg den Vorzug gegeben, die so ermittelten Ergebnisse jedoch um 90 mkp/min vermindert.

Obschon der theoretische Aussagewert der W_{170} zweifellos geringer ist als der der maximalen O_2 -Aufnahme, ließ sich durch einen direkten Vergleich eine gewisse Prävalenz der W_{170} für die Praxis der Leistungsbeurteilung besonders für jüngere Kinder ableiten.

Von entscheidender Bedeutung zur Beurteilung ergometrischer Leistungsprüfungen sind Bezugsgrößen der körperlichen Leistungsfähigkeit. Da in neuerer Zeit verschiedentlich vorgeschlagen wurde, die über das Gesamtkalium bestimmte fettfreie Körpermasse sowie Zellmasse als Bezugsgröße zu verwenden, haben wir die Aussagekraft dieser Größe mit leicht meßbaren Größen wie der Körperlänge und dem Körpergewicht verglichen. Wir kamen zu dem Ergebnis, daß die W_{170} mit dem Gesamtkalium deutlich höher korreliert ($r = 0,862$) als mit dem Körpergewicht ($r = 0,629$) oder der Körperlänge ($r = 0,718$). Insgesamt sind wir jedoch der Meinung, daß diese Korrelationsunterschiede nicht so wesentlich sind, daß sich die aufwendige Bestimmung des Gesamtkaliums für praktische Zwecke rechtfertigen ließe.

Wie bereits von HOLMGREEN gezeigt wurde, kann mit Hilfe der W_{170} die Leistungsfähigkeit des kardiopulmonalen Systems beschrieben werden. Die von verschiedenen Untersuchern gewonnenen Ergebnisse differierten jedoch nicht unbeträchtlich, so daß es notwendig war, für deutsche Verhältnisse eigene Normwerte zu gewinnen. Zu diesem Zweck haben wir insgesamt 1042 Personen im Alter zwischen 5 und 55 Jahren untersucht. Davon waren 326 Mädchen im Alter zwischen 5 und 18 Jahren.

Wir konnten zeigen, daß die W_{170} sowohl in mkp/min als auch bezogen auf das Körpergewicht bei Jungen und Mädchen entsprechend dem Verlauf der geschlechtsspezifischen Wachstumskurven bis zum 18. Lebensjahr ansteigt. Die untersuchten Jungen wiesen in allen Altersgruppen eine bessere Leistungsfähigkeit auf als die Mädchen. Besonders deutlich wurde der Unterschied nach der Pubertät.

Im Erwachsenenalter scheint die körperliche Leistungsfähigkeit vom Ausmaß der täglichen körperlichen Aktivität abzuhängen. So zeigte die Gruppe mit der geringsten körperlichen Aktivität (Fluglotsen) die schlechteste Leistungsfähigkeit, die Gruppe mit der höchsten körperlichen Aktivität (Hochleistungssportler) dagegen die beste Leistungsfähigkeit. Die Gruppe mit mittlerer körperlicher Aktivität (Sportstudenten) lag zwischen den beiden Extremgruppen. Diese Rangreihe änderte sich nicht, wenn man anstelle der absoluten W_{170} (in mkp/min) die Werte auf das Körpergewicht bezog, jedoch trat die schlechtere Leistungsfähigkeit der Fluglotsen durch diesen Bezug deutlicher zu Tage.

In der Frage von "Normwerten" der W_{170} im Erwachsenenalter kommen wir zu dem Ergebnis, daß eine W_{170} zwischen 900 und 1200 mkp/min oder 2,5 - 2,8 W/kg Körpergewicht für einen erwachsenen Mann als normal gelten kann.

LITERATUR

ADAMS, F.H., LINDE, L.M. and MIYAKE, H.

The physical working capacity of normal
school children.
I. California.

Pediatrics 28, 55-64 (1961 a)

ADAMS, F.H., BENGTTSSON, E., BERVEN, H. and WEGELIUS, C.

The physical working capacity of normal
school children.
II. Swedish city and country.

Pediatrics 28, 243-257 (1961 b)

ANDERSEN, K.L.

Work capacity of selected populations.

In: P.T. Baker and I.S. Weiner: The biology of
human adaptability. pp. 67-90

Oxford University Press, London 1966

ANDERSEN, K.L.

The cardiovascular system in exercise.

In: H.B. Falls (Ed.): Exercise Physiology.
pp. 79-127

Academic Press, New York and London 1968

ANDERSEN, K.L., SHEPHARD, R.J., DENOLIN, H.,
VARNAUSKAS, E. and MASIRONI, R.

Fundamentals of exercise testing.

WHO, Geneva 1971

ASMUSSEN, E. and HEEBØLL-NIELSEN, K.

Physical performance and growth in children.
Influence of sex, age and intelligence.

J. appl. Physiol. 8, 371-380 (1956)

^o
ASTRAND, I.

Aerobic work capacity in men and women
with special reference to age.

Acta physiol. Scand. 49, Suppl. 169 (1960)

ASTRAND, P.-O.

Experimental studies of physical working
capacity in relation to sex and age.

Munksgaard, Copenhagen 1952

ÅSTRAND, P-O.

Human physical fitness with special reference to sex and age.

Physiol. Rev. 36, 307-335 (1956)

ÅSTRAND, P-O. and RYHMING, I.

A nomogram for calculation of aerobic capacity (physical fitness) from pulse rate during submaximal work.

J. appl. Physiol. 7, 218-221 (1954)

ÅSTRAND, P-O. and RODAHL, K.

Textbook of work physiology.

McGraw-Hill Book Company, New York 1970

ÅSTRAND, P-O. and SALTIN, B.

Oxygen uptake during the first minutes of heavy muscular exercise.

J. appl. Physiol. 16, 971-976 (1961 a)

ÅSTRAND, P-O. and SALTIN, B.

Maximum oxygen uptake and heart rate in various types of muscular activity.

J. appl. Physiol. 16, 977-981 (1961 b)

ÅSTRAND, P-O., ENGSTRÖM, L., ERIKSSON, B.O., KARLBERG, P., NYLANDER, I., SALTIN, B. and THORÉN, C.

Girl swimmers.

Acta Paediatrica Supplement 147 (1963)

BEHNKE, A.R., FEE, B.G. and WELHAM, W.C.

The specific gravity of healthy men.

J. Am. Med. Assoc. 118, 495-501 (1942)

BENGTSSON, E.

The working capacity in normal children, evaluated by submaximal exercise on the bicycle ergometer and compared with adults.

Acta med. Scand. 154, 91-109 (1956)

BENGTSSON, E.

Studies on the electrocardiogram and working capacity.

Norstedt, Copenhagen 1957

BINKHORST, R.A. and van LEEUWEN, P.

A rapid method for the determination
of aerobic capacity.

Int. Z. angew. Physiol. 19, 459-467 (1963)

BINKHORST, R.A., POOL, J., van LEEUWEN, P. and
BOUHUYS, A.

Maximum oxygen uptake in healthy
nonathletic males.

Int. Z. angew. Physiol. 22, 10-18 (1966)

BLOHMKE, M., STUMPF, H., STELZER, O. und ARIES, W.D.

Bestimmung der Zuverlässigkeit von zwei
submaximalen Belastungsverfahren und ihre
Beziehung zueinander.

Int. Z. angew. Physiol. 23, 1-11 (1966)

BOCK, A.V., VANCAULAERT, C., DILL, D.B., FÖLLING, A.
and HURXTHAL, L.M.

Studies in muscular activity.

III. Dynamical changes occurring in man at work.

J. Physiol. 66, 136-161 (1928)

BOUHUYS, A., POOL, J., BINKHORST, R.A. and
van LEEUWEN, P.

Metabolic acidosis of exercise in healthy males.

J. appl. Physiol. 21, 1040-1046 (1966)

BÜRGER, M.

Altern und Krankheit.

VEB Georg Thieme, Leipzig, 2. Aufl. 1954

BURMEISTER, W.

Potassium-40-content as a basis for the
calculation of body cell mass in man.

Science 148, 1336-1337 (1965)

BURMEISTER, W.

Hinweise zur Anwendung von Bezugsgrößen
im Kindesalter.

In: F. Linneweh (Hrsg.): Fortschritte der
Pädologie, Band II, S. 232-242

Springer-Verlag, Berlin-Heidelberg-New York 1968

BURMEISTER, W.

The body cell mass - a reference standard during growth.

In: M. Maček (Ed.): Proceedings of the Second Symposium of Pediatric Group of Working Physiology. pp. 69-73

Universita Karlova, Praha 1970

BURMEISTER, W. und FROMBERG, G.

Depotfett, bestimmt nach der Kalium-40-Methode und seine Beziehung zur Hautfaltendicke bei 4-19-jährigen.

Arch. Kinderheilk. 180, 228-238 (1970)

BURMEISTER, W., RUTENFRANZ, J., SBRESNY, W. and RADNY, H.G.

Body cell mass and physical performance capacity (W_{170}) of school children.

Int. Z. angew. Physiol. 31, 61-70 (1972)

CHRISTENSEN, E.H.

Beiträge zur Physiologie schwerer körperlicher Arbeit.

IV. Die Pulsfrequenz während und unmittelbar nach schwerer körperlicher Arbeit.

Arbeitsphysiol. 4, 453-469 (1931)

CHRISTIAN, J.E., COMBS, L.W. and KESSLER, W.V.

The body composition of obese subjects.

Am. J. clin. Nutr. 15, 20-28 (1964)

COLLETT, M.E. and LILJESTRAND, G.

The minute volume of the heart in man during some different types of exercise.

Skand. Archiv Physiol. (Berlin u. Leipzig) 45, 29-42 (1924)

CONSOLAZIO, C.F., JOHNSON, R.E. and PECORA, L.J.

Physiological measurements of metabolic functions in man.

McGraw-Hill Book Company, New York - Toronto - London 1963

COOPER, K.H.

Bewegungstraining.

S. Fischer Verlag, Frankfurt/M. 1970

CUMMING, G.R.

Current levels of fitness.

Canad. Med. Ass. J. 96, 868-877 (1967)

CUMMING, G.R. and CUMMING, P.M.

Working capacity of normal children tested on a bicycle ergometer.

Canad. Med. Ass. J. 88, 351-355 (1963)

von DÖBELN, W.

Human standard and maximal metabolic rate in relation to fatfree body mass.

Acta physiol. Scand. 37, Suppl. 126 (1956)

DRESSLER, F. und MELLEROWICZ, H.

Atmung und Kreislauf gesunder Schulkinder bei einer submaximalen ergometrischen Leistung von 1 Watt / 1 kg Körpergewicht.

Z. Kinderheilk. 85, 31-49 (1961)

DUBOIS, D. and DUBOIS, E.F.

nach Documenta Geigy

Wissenschaftliche Tabellen, S. 534

Basel, 7. Aufl. 1968

ELO, O., HIRVONEN, L. and VÄLIMÄKI, I.

Physical working capacity of normal and diabetic children.

Ann. Paediat. Fenn. 11, 25-31 (1965)

FISCHER, A., PAŘÍŽKOVÁ, J. and ROTH, Z.

The effect of systematic physical activity on maximal performance and functional capacity in senescent men.

Int. Z. angew. Physiol. 21, 269-304 (1965)

FLEISHMAN, E.A.

The structure and measurement of physical fitness.

Prentice Hall Inc., Englewood Cliffs, N.J. 1964

FORBES, G.B. and LEWIS, A.M.

Total sodium, potassium and chloride in adult man.

J. clin. Invest. 35, 596-600 (1956)

FORBES, G.B., GALLUP, J. and HURSH, J.B.

Estimation of total body fat from
potassium-40 content.

Science 133, 101-102 (1961)

FOWLER, W.M. and GARDNER, G.W.

The relation of cardiovascular test to
measurements of motor performance and skills.

Pediatrics 32, 778-789 (1963)

GRAF, O.

Untersuchungen über die Wirkung zwangsläufiger
zeitlicher Regelung von Arbeitsvorgängen.

III. Mitt.: Die Schwankung der Leistungsfähig-
keit während des Tages und die Frage einer
"physiologischen Arbeitskurve"

Arbeitsphysiol. 7, 358-380 (1934)

GRIMBY, G., NILSSON, N.J. and SALTIN, B.

Cardiac output during submaximal and maximal
exercise in active middle-aged athletes.

J. appl. Physiol. 21, 1150-1156 (1966)

HARTLEY, L.H., GRIMBY, G., KILBOM, A., NILSSON, N.J.

ASTRAND, I., BJURE, EKBLÖM, B. and SALTIN, B.

Physical training in sedentary middle-aged
and older men.

III. Cardiac output and gas exchange at
submaximal and maximal exercise.

Scand. J. clin. Lab. Invest. 24, 335-344 (1969)

HEBBELINCK, M., BORMS, J. et CLARYS, J.

La variabilité de l'âge squelettique et les
corrélations avec la capacité de travail
chez les garçons de 5 me année primaire.

Kinanthropologie 3/2, 125-135 (1971)

HELLBRÜGGE, Th., RUTENFRANZ, J. und GRAF, O.

Gesundheit und Leistungsfähigkeit im
Kindes- und Jugendalter.

Georg Thieme Verlag, Stuttgart 1960

HOLLMANN, W.

Körperliches Training als Prävention von
Herz- und Kreislaufkrankheiten.

Hippokrates Verlag, Stuttgart 1965

HOLLMANN, W.

Für den alternden und alten Menschen
empfehlenswerte Sportarten.

Z. präklin. Geriat. 1, 37-40 (1971)

HOLLMANN, W.

Höchst- und Dauerleistungsfähigkeit
des Sportlers.

J.A. Barth, München 1973

HOLMGREN, A.

Cardiorespiratory determinants of
cardiovascular fitness.

Canad. Med. Ass. J. 96, 697-702 (1967)

HOLTMEIER, H.J.

Volksseuche Fettsucht.

Dtsch. Ärztebl. 70, 2512-2519 (1973)

HOWELL, M.L. and MACNAB, R.B.J.

Interests and attitudes towards physical
activity, the strength, the fitness performance
and the work capacity of Canadian children.

The University of Alberta, Faculty of
Physical Education,
Edmonton, Canada 1967 (mimeographed document)

JOKL, E.

Alter und Leistung.

Springer-Verlag, Berlin-Göttingen-
Heidelberg 1954

KELLERMANN, J.J., MODAN, B., FELDMAN, S. and KARIV, I.

Evaluation of physical work capacity in
coronary patients after myocardial infarction
who returned to work with and without a
medically directed reconditioning program.

In: D. Brunner and E. Jok (Eds.): Medicine and
Sport, Vol. 4: Physical Activity and Aging.
pp. 148-155

S. Karger, Basel - New York 1970

KEUL, J., REINDELL, H. und ROSKAMM, H.

Zur Belastbarkeit des jugendlichen Organismus.
Herzvolumen und Leistungsfähigkeit bei Jugendlichen nach langjähriger Trainingsbelastung.

Int. Z. angew. Physiol. 19, 287-329 (1962)

KEYS, A. and BROŽEK, J.

Body fat in adult man.

Physiol. Rev. 33, 245-325 (1953)

KJELLBERG, S.R., MANNHEIMER, E., RUDHE, U. and JONSSON, B.

Diagnosis of congenital heart disease.

The Yearbook Publishers Inc., Chicago 1959

KLIMT, F., MAI, G. und MATTAUSCH, H.

Über Möglichkeiten von ergometrischen Untersuchungen im Kleinkindesalter.

Kinderärztl. Praxis 37, 117-121 (1969)

KNAUTH, P. und RUTENFRANZ, J.

Untersuchungen über die Beziehungen zwischen Schichtform und Tagesaufteilung.

Int. Arch. Arbeitsmed. 30, 173-191 (1972)

KNUTTGEN, H.G. and SALTIN, B.

Oxygen uptake, muscle high-energy phosphates, and lactate in exercise under acute hypoxic conditions in man.

Acta physiol. Scand. 87, 368-376 (1973)

KRAHL, H.

Sport im höheren Lebensalter.

Z. präklin. Geriat. 5, 95-101 (1973)

LANGE, E.

Dauertraining im Ruhestand.

Z. präklin. Geriat. 4, 73-78 (1972)

LIENERT, G.A.

Testaufbau und Testanalyse.

Verlag Julius Beltz, Weinheim/Bergstraße 1961

LINDEMANN, H.

Vergleichende Untersuchungen zur indirekten
Bestimmung der maximalen Sauerstoffaufnahme.
Diss. Gießen 1972

LUKIN, L.

Instability of the "steady state" during exercise.
Int. Z. angew. Physiol. 20, 45-49 (1963)

MÁČEK, M., VÁVRA, J. and ZIKA, K.

The comparison of the W_{170} values in
healthy children of various countries.
In: M. Maček (Ed.): Proceedings of the Second
Symposium of Pediatric Group of Working
Physiology. pp. 21-24
Universita Karlova, Praha 1970

MÁČEK, M., VÁVRA, J. and ZIKA, K.

The comparison of the W_{170} values during growth.
J. Sports Med. (Torino) 11, 69 (1971)

MAYER, J.

Some aspects of the problems of regulation
of food intake and obesity.
New Engl. J. Med. 274, 610-616 (1966)

MEREDITH, H.V.

zitiert in: W.E. Nelson (Ed.): Textbook of
Pediatrics. pp. 50 ff.
W.B. Saunders Company, Philadelphia - London -
Toronto 1969

MOCELLIN, R. und RUTENFRANZ, J.

Methodische Untersuchungen zur Bestimmung der
körperlichen Leistungsfähigkeit (W_{170}) im
Kindesalter.
Z. Kinderheilk. 108, 61-80 (1970 a)

MOCELLIN, R. und RUTENFRANZ, J.

Zur Frage der Linearität des Pulsfrequenz-
anstieges bei steigenden Leistungen.
In: M. Maček (Ed.): Proceedings of the Second
Symposium of Pediatric Group of Working
Physiology. pp. 15-20
Universita Karlova, Praha 1970 b

MOCELLIN, R., RUTENFRANZ, J. und SINGER, R.

Zur Frage von Normwerten der körperlichen Leistungsfähigkeit (W₁₇₀) im Kindes- und Jugendalter.

Z. Kinderheilk. 110, 140-165 (1971)

MOORE, F.D., OLESEN, K.H., McMURREY, J.D., PARKER, H.V., BALL, M.R. and BOYDEN, C.M.

The body cell mass and its supporting environment.

W.B. Saunders Company, Philadelphia - London 1963

MÜLLER, E.A.

Die Pulszahl als Kennzeichen für Stoffaustausch und Ermüdbarkeit des arbeitenden Muskels.

Arbeitsphysiol. 12, 92-104 (1942)

MÜLLER, E.A.

Der Pulsquotient als Maß der Muskelermüdung.

Arbeitsphysiol. 12, 320-331 (1943)

MÜLLER, E.A.

Ein Leistungs-Pulsindex als Maß der Leistungsfähigkeit.

Arbeitsphysiol. 14, 271-284 (1950)

MÜLLER, E.A.

Die ärztliche Beurteilung der körperlichen Dauerleistungsfähigkeit im Beruf.

Dtsch. med. Wschr. 86, 2272-2277 (1961)

MÜLLER, E.A.

Der Leistungs-Puls-Index als Maß der körperlichen Leistungsfähigkeit im Beruf.

Methoden des Max-Planck-Instituts für Arbeitsphysiologie Dortmund (Manuskript) 1962

MÜLLER, E.A. und OLECH, K.H.

Eichkontrolle für das permanenmagnetisch gebremste Fahrradergometer nach E.A. Müller

Arbeitswissenschaft 3, 176-177 (1964)

PAŘÍŽKOVÁ, J.

Physical activity and body composition.

In: J. Brozek (Ed.): Human Body Composition.
Symposium of the Society for the Study of
Human Biology, Vol. 7, pp. 161-176

Pergamon Press, Oxford 1965

PFAUNDLER, M.

Biologisches und allgemein Pathologisches
über die frühen Entwicklungsstufen.

In: Pfaundler-Schlossmann: Handbuch der
Kinderheilkunde, Band 1

F.C.W. Vogel, Berlin 1931

ROBINSON, S.

Experimental studies of physical fitness
in relation to age.

Arbeitsphysiol. 10, 251-323 (1938)

ROMAHN, A. und BURMEISTER, W.

Gesamtkaliumbestimmung bei Säuglingen und
Kleinkindern mit einem Babycounter.

Arch. Kinderheilk. 180, 239-249 (1970)

ROUŠ, J. and VANK, L.

Comparing calendar, somatic and skeletal
age when determining working capacity of
children.

In: M. Maček (Ed.): Proceedings of the Second
Symposium of Pediatric Group of Working
Physiology. pp. 83-88

Universita Karlova, Praha 1970

RUTENFRANZ, J.

Entwicklung und Beurteilung der körperlichen
Leistungsfähigkeit bei Kindern und Jugendlichen.

S. Karger, Basel - New York 1964

RUTENFRANZ, J.

Der Begriff der Leistungsfähigkeit des
arbeitenden Menschen.

In: C.W. Hertz (Hrsg.): Begutachtung von
Lungenfunktionsstörungen. S. 24-39

Georg Thieme Verlag, Stuttgart 1968

RUTENFRANZ, J.

Exercise tests in children and adolescents.

In: K.L. Andersen, R.J. Shephard, H. Denolin,
E. Varnauskas and R. Masironi (Eds.): Fundamentals
of exercise testing. pp. 105-109

WHO, Geneva 1971

RUTENFRANZ, J., BERNDT, I., FROST, H., MOCELLIN, R.,
SINGER, R. and SBRESNY, W.

Physical performance capacity determined
as W_{170} in youth.

In: O. Bar-Or (Ed.): Pediatric Work Physiology.
Proceedings of the Fourth International Symposium,
Wingate Institute, April 1972, pp. 245-249

Tel Aviv 1973

RUTENFRANZ, J., BERNDT, I. and KNAUTH, P.

Daily physical activity investigated by
time budget studies and physical performance
capacity of school boys.

(im Druck)

RUTENFRANZ, J. und HETTINGER, Th.

Untersuchungen über die Abhängigkeit der
körperlichen Leistungsfähigkeit von Lebens-
alter, Geschlecht und körperlicher Entwicklung.

Z. Kinderheilk. 83, 65-88 (1959)

RUTENFRANZ, J. und HOCKE, R.

Über den Aussagewert einiger ergometrischer
Verfahren zur Prüfung der körperlichen Leistungs-
fähigkeit von Kindern und Jugendlichen.

II. Mitt.: Vergleichende Untersuchungen über die
Beurteilung der körperlichen Leistungsfähigkeit
von Kindern und Jugendlichen mit verschiedenen
ergometrischen Methoden.

Int. Z. angew. Physiol. 20, 316-336 (1964 a)

RUTENFRANZ, J., HOCKE, Ch. und HOFMANN-KEILHACKER, E.

Über den Aussagewert einiger ergometrischer Ver-
fahren zur Prüfung der körperlichen Leistungs-
fähigkeit von Kindern und Jugendlichen.

I. Mitt.: Die Abhängigkeit der Meßwerte von Lebens-
alter, Geschlecht und körperlicher Entwicklung.

Int. Z. angew. Physiol. 20, 294-315 (1964 b)

RUTENFRANZ, J. und MOCELLIN, R.

Untersuchungen über die körperliche Leistungsfähigkeit gesunder und kranker Heranwachsender.
I. Bezugsgrößen und Normwerte.

Z. Kinderheilk. 103, 109-132 (1968)

SALTIN, B. and ÅSTRAND, P.-O.

Maximal oxygen uptake in athletes.

J. appl. Physiol. 23, 353-358 (1967)

SALTIN, B., HARTLEY, L.H., KILBOM, A. and ÅSTRAND, I.

Physical training in sedentary middle-aged and older men.

II. Oxygen uptake, heart rate and blood lactate concentration at submaximal and maximal exercise.

Scand. J. clin. Lab. Invest. 24, 323-334 (1969)

SCHMÜCKER, B. und HOLLMANN, W.

Zur Frage der Trainierbarkeit von Herz und Kreislauf bei Kindern bis zum 10. Lebensjahr.

Sportarzt und Sportmed. 24, 231-235 und 263-265 (1973)

SELIGER, V.

Energy metabolism in selected physical exercises.

Int. Z. angew. Physiol. 25, 104-120 (1968)

SELIGER, V., HORÁK, J., CERMÁK, V., HANDZO, P., JIRKA, Z., MACEK, M. and ULBRICH, J.

Physical fitness indices for czechoslovak athletes of 12, 15 and 18 years of age.

In: V. Seliger (Ed.): Physical Fitness.
pp. 356-361

Universita Karlova, Praha 1973

SIEBER, W. und FRANZ, H.

Ein Atemventil mit niedrigem Atemwiderstand.

Int. Z. angew. Physiol. 26, 279-282 (1968)

SINGER, R. und RUTENFRANZ, J.

Arbeitspsychologische Studien über Arbeitszufriedenheit und berufsbezogene Gesundheitsstörungen bei Fluglotsen.

Int. Arch. Arbeitsmed. 30, 135-160 (1972)

STEGEMANN, J.

Leistungsphysiologie.

Georg Thieme Verlag, Stuttgart 1971

STRÖM, G.

Recommended symbols nomenclature and criteria for certain measures of physical capacity.

Försvarsmedicin 3, 159-160 (1967)

TAYLOR, H.L., WANG, Y., ROWELL, L. and BLOMQVIST, G.

The standardization and interpretation of submaximal and maximal tests of working capacity.

Pediatrics 32, 703-722 (1963)

THORÉN, C.

Factors affecting calculation of physical working capacity from heart rate at submaximal work loads.

In: M. Maček (Ed.): Proceedings of the Second Symposium of Pediatric Group of Working Physiology. pp. 25-28

Universita Karlova, Praha 1970

THORÉN, C., SELIGER, V., MÁČEK, M., VÁVRA, J. and RUTENFRANZ, J.

The influence of training on physical fitness in healthy children and children with chronic diseases.

In: F. Linneweh (Ed.): Current aspects of perinatology and physiology of children. pp. 83-112

Springer-Verlag, Berlin - Heidelberg - New York 1973

VALENTIN, H., VENRATH, H., von MALLINCKRODT, H. und GÜRAKAR, M.

Die maximale Sauerstoffaufnahme in den verschiedenen Altersklassen. Eine praktisch wichtige Herz-Kreislauf-Funktionsprüfung im Vita-maxima-Bereich.

Z. Alternsforsch. 9, 291-309 (1955)

VOIGT, E.-D., ENGEL, P. und KLEIN, H.

Über den Tagesgang der körperlichen Leistungsfähigkeit.

Int. Z. angew. Physiol. 25, 1-12 (1968)

WAHLUND, H.

Determination of the physical working capacity.
A physiological and clinical study with special
reference to standardization of cardiopulmonary
functional tests.

Acta med. Scand. 132, Suppl. 215 (1948)

YOSHIZAWA, S.

A comparative study of aerobic work capacity
in urban and rural adolescents.

J. Human Ergol. 1, 45-65 (1972)

N a c h w o r t

Für die Überlassung des Themas und für die Beratung bei der Durchführung der Untersuchung möchte ich Herrn Prof. Dr. med. Dr. phil. J. RUTENFRANZ herzlich danken.

Herrn Dr. R. MOCELLIN und Herrn Dr. H. LINDEMANN danke ich für ihre Unterstützung bei der Durchführung der Versuche.

Frau A. WAHLE und Frau D. MUSCARIELLO danke ich für das Korrekturlesen der Arbeit.

Teile dieser Arbeit wurden veröffentlicht in:

Acta Paediat. Scand., Suppl. 217, 13-17 (1971)

Int. Z. angew. Physiol. 31, 61-70 (1972)

Europ. J. appl. Physiol. 32, 25-53 (1973)

O. BAR-OR (Ed.): Pediatric Work Physiology, pp. 245-249
Tel Aviv 1973

V. SELIGER (Ed.): Physical Fitness, pp. 282-288
Universita Karlova, Praha 1973

L e b e n s l a u f

Am 8.7.1944 wurde ich in Gießen als Sohn des Studiendirektors Hans-Joachim Sbresny und seiner Ehefrau Gertrud geb. Rupp geboren.

Nach dem Volksschulbesuch von 1951 - 1955 in Gießen Wieseck besuchte ich ab 1955 die Herderschule in Gießen und legte 1963 die Reifeprüfung ab.

Nach dem Abitur leistete ich in der Zeit von 1963 - 1965 meinen Pflichtwehrdienst ab.

Im Sommersemester 1965 begann ich an der Justus Liebig-Universität Gießen das Studium der Humanmedizin und legte 1967 die ärztliche Vorprüfung ab. Nach 6 klinischen Semestern an der gleichen Universität bestand ich am 18.1.1972 die ärztliche Prüfung.

Als Medizinalassistent arbeitete ich nacheinander am Institut für Arbeitsmedizin der Justus Liebig-Universität Gießen, der Medizinischen Poliklinik Gießen und auf der chirurgischen Abteilung des Friedrich Zimmer Krankenhauses Herborn.

Nach der Bestallung am 20.7.1973 arbeitete ich 6 Monate am Institut für Arbeitsphysiologie Dortmund und schrieb die vorliegende Inauguraldissertation.

Foto-Druck Lenz • 63 Gießen • Riegelpfad 32 / Ecke Ludwigstraße
Telefon 0641-77449